

# HIDROLÓGIAI KÖZLÖNY



A MAGYAR HIDROLÓGIAI TÁRSASÁG LAPJA • 100. ÉVF. 2. SZÁM • 2020  
HUNGARIAN JOURNAL OF HYDROLOGY • VOL 100. NO 2. • 2020





## Hidrológiai Közlöny

A Magyar Hidrológiai Társaság lapja  
Megjelenik háromhavonként

### Főszerkesztő

Fehér János

### Szakszerkesztők

Ács Éva

Konecsny Károly

Nagy László

### Olvasószerkesztő

Szlávik Lajos

### Szerkesztőbizottság elnöke

Szöllősi-Nagy András

### Szerkesztőbizottság tagjai

Ács Éva, Bakonyi Péter, Baranyai Gábor,  
Bíró Péter, Bíró Tibor, Bogárdi János,  
Bozán Csaba, Csörnyei Géza, Engi  
Zsuzsanna, Fehér János, Fejér László,  
Gayer József, Hajnal Géza, Honti Márk,  
Ijjas István, Józsa János, Kerekesné Steindl  
Zsuzsanna, Kling Zoltán, Konecsny Károly,  
Koris Kálmán, Kovács Sándor, Kuti  
László, Licskó István, Major Veronika,  
Melicz Zoltán, Nagy László, Rákosi Judit,  
Rátky István, Román Pál, Szilágyi Ferenc,  
Szlávik Lajos, Szűcs Péter, Tamás János,  
Ungvári Gábor

### Kiadó

Magyar Hidrológiai Társaság  
1091 Budapest, Üllői út 25. IV. em.  
Tel: +36-(1)-201-7655  
Fax: +36-(1)-202-7244  
Email: titkarsag@hidrologia.hu  
Honlap: www.hidrologia.hu  
A Kiadó képviselője: Szlávik Lajos, a  
Magyar Hidrológiai Társaság elnöke

### Hirdetés

Magyar Hidrológiai Társaság Titkarsága  
1091 Budapest, Üllői út 25. IV. em.  
Telefon: (1)-201-7655 Fax: (1)-202-7244  
Email: titkarsag@hidrologia.hu

### Indexelik

Appl. Mech.; Rew. Chem.; Abstr.  
Fluidex; Geotechn. Abstr.; Meteor /  
Geostrophys. Abstr. Sei.; Water Res.  
Abstr.

Index: 25374

HU ISSN 0018-1323

## Tartalomjegyzék

Fehér János: Előszó ..... 3

### SZAKCIKKEK

Varga Pál és Kerekesné Steindl Zsuzsanna: Vizeink  
minőségének védelme – az MHT Környezetvédelmi  
Szakosztály tevékenysége tükrében ..... 5

Szlávik Lajos: A Körösök 1980. évi rendkívüli árvize –  
töltésszakadások, szükségtározások ..... 14

Nagy László és Illés Zsombor: Völgyzárógátak  
földrendésbiztos tervezésének fejlődése ..... 28

Pomázi Flóra, Baranya Sándor és Török Gergely Tihamér:  
Nagy folyók lebegtetett hordalékvándorlásának új  
vizsgálati módszerei 1. – A továbbfejlesztett hordalék-  
monitoring módszertan bemutatása ..... 37

Kovács Attila: A mennyiségi igénybevételi határérték  
meghatározásának szempontjai és modellezési háttere ..... 48

Mohannad Alobid és Pék Éva: Nyomásos öntözőrendszerek  
teljesítményértékelésének lehetséges módszertana a  
megbízhatóság növelése érdekében ..... 59

Nagy Eszter Dóra: Tározóvízállás előrejelezhetőségének  
vizsgálata a Kebele-patak vízgyűjtőjén ..... 70

### FÓRUM

Ákoshegyi György: Az MHT Balneotechnikai szakosztály  
története, tevékenysége ..... 76

Külföldi Tiszteleti Tag díjak átadása - Mitja Brilly és Franz  
Nobilis ..... 79

### NEKROLÓG

Dr. Tóth László – Rácz Tibor megemlékezése ..... 83

### KÖNYVISMERTETÉS

Csima Péter: Mikoviny Sámuel az építész és tájalakító című  
könyvét ismerteti Fejér László ..... 84

Sámsondi Kiss György: A Duna összeköt. Egy  
kormánybiztos vallomásai című könyvét ismerteti  
Szöllősi-Nagy András ..... 86



## Hungarian Journal of Hydrology

Journal of the Hungarian Hydrological Society  
Published quarterly

### Editor-in-Chief

János FEHÉR

### Assistant Editors

Éva ÁCS

Károly KONECSNY

László NAGY

### Copy Editor

Lajos SZLÁVIK

### Editorial Board Chairman

András SZÖLLŐSI-NAGY

### Editorial Board Members

Éva ÁCS, Péter BAKONYI, Gábor BARANYAI, Péter BÍRÓ, Tibor BÍRÓ, János BOGÁRDI, Csaba BOZÁN, Géza CSÖRNYEI, Zsuzsanna ENGI, János FEHÉR, László FEJÉR, József GAYER, Géza HAJNAL, Márk HONTI, István IJJAS, János JÓZSA, Zsuzsanna KERESKESNÉ STEINDL, Zoltán KLING, Károly KONECSNY, Kálmán KORIS, Sándor KOVÁCS, László KUTI, István LICSKÓ, Veronika MAJOR, Zoltán MELICZ, László NAGY, Judit RÁKOSI, István RÁTKY, Pál ROMÁN, Ferenc SZILÁGYI, Lajos SZLÁVIK, Péter SZÜCS, János TAMÁS, Gábor UNGVÁRI

### Publisher

Hungarian Hydrological Society  
H-1091 Budapest, Üllői út 25., Hungary  
Phone: +36-(1)-201-7655; Fax: +36-(1)-202-7244;  
Email: titkarsag@hidrologia.hu  
Web: www.hidrologia.hu  
Represented by: Lajos SZLÁVIK, President  
of the Hungarian Hydrological Society  
Email: titkarsag@hidrologia.hu

### Advertising

Secretariat of the Hungarian Hydrological Society  
H-1091 Budapest, Üllői út 25., Hungary  
Phone: +36-(1)-201-7655. Fax: +36-(1)-202-7244  
Email: titkarsag@hidrologia.hu

### Indexed in

Appl. Mech.; Rew. Chem.; Abstr. Flu-  
idex.; Geotechn. Abstr.; Meteor / Geo-  
astrophys. Abstr. Sei.; Water Res. Abstr.  
Index: 25374  
HU ISSN 0018-1323

## Contents

János FEHÉR: Foreword ..... 3

### SCIENTIFIC PAPERS

Pál VARGA and Zsuzsanna KERESKESNÉ STEINDL:  
Water quality protection in Hungary - in the light of the  
activities of the Environmental Department of the  
Hungarian Hydrological Society ..... 5

Lajos SZLÁVIK: The extraordinary flood of the Körös  
Rivers in 1980 – dyke breaches, emergency storages ..... 14

László NAGY and Zsombor ILLÉS: Evolution of the  
earthquake resistant design of embankment dams ..... 28

Flóra POMÁZI, Sándor BARANYA, Gergely Tihamér  
TÖRÖK: New investigation methods of suspended  
sediment transport in large rivers 1. – Introduction of an  
improved sediment monitoring method ..... 37

Attila KOVÁCS: Aspects and modelling background for  
determining permissible annual volume ..... 48

Mohannad ALOBID and Éva PÉK: Performance analysis by  
pressure-driven model to increase reliability of water  
services in pressurized irrigation systems ..... 59

Eszter Dóra NAGY: Reservoir water level forecasting in a  
medium-sized Hungarian catchment ..... 70

### FORUM

György ÁKOSHEGYI: History and activities of the MHT  
Balneo-technics Department ..... 76

Presentation of Foreign Honorary Member Awards -  
Mitja Brilly and Franz Nobilis ..... 79

### OBITUARY

Dr. László TÓTH – Commemoration by Tibor RÁCZ ..... 83

### BOOK REVIEW

Péter CSIMA: Mikoviny Sámuel az építész és tájalakító  
(Sámuel Mikoviny, the architect and landscaper) –  
a review by László FEJÉR ..... 84

György SÁMSONDI KISS: A Duna összeköt. Egy  
kormánybiztos vallomásai (The Danube connects.  
Testimony of a government commissioner) –  
a review by András SZÖLLŐSI-NAGY ..... 86



# Előszó



A *Hidrológiai Közlöny* centenáriumi évfordulóját ünnepeljük 2020-ban. A 100. évfolyam második számában folytatódik az a folyamat, amelynek során az évforduló alkalmából szeretnénk képet adni az ország vízgazdálkodási helyzetéről, bemutatva a múltat, a jelenlegi állapotokat, és a jövőbeli megoldandó feladatokat és ehhez kértük a vízügyi ágazat fontos intézményeinek, a tudományos testületeknek, társadalmi, szakmai szervezeteknek, valamint a Magyar Hidrológiai Társaság szakosztályainak támogató együttműködését áttekintő szakmai cikkek elkészítésével.

Ennek a folyamatnak a részeként *Varga Pál* és *Kerekesné Steindl Zsuzsanna* – akik több évtizedet töltöttek el különböző vezető beosztásokban a vízminőségvédelem területén, úgy a gyakorlatban, mind az államigazgatásban – a Magyar Hidrológiai Társaság Környezetvédelmi szakosztályának története és tevékenysége tükrében mutatják be a vízminőségvédelmi szakterület múltját, felvázolják vizeink jelenlegi minőségi állapotát, valamint kitekintést adnak a jövőben szükségesnek tartott fejlesztési irányokról.

Újabb évfordulós árvízvédelmi történeti visszatekintéssel jelentkezik *Szlávik Lajos*, aki felidézi cikkében a Körösökön 1980-ban levonult rendkívüli árvizet. Felidézi, hogy 1980. július utolsó hetében a Körösök hegyvidéki vízgyűjtőréstén jelentős mennyiségű, nagy intenzitású eső hullott két nap alatt, melynek következtében gyors áradás indult el a folyókon, különösen a Fekete-Körösön. A rendkívüli hevesesség árhullámok levonulása nem volt zavartalan. 3 és fél nap alatt három töltésszakadás következett be: román területen, a Fekete-Körös bal parti mellékvízen, a Tőzön; a Berettyó és a Sebes-Körös összefolyásánál, Halaspusztánál; és a Kettős-Körösön, a folyó jobb parti töltésén, Hosszúfoknál. A cikk kiemeli, hogy a két hazai töltésszakadás jelentős tanulságokkal szolgált az árvízvédelmi fejlesztések szempontjából. A védekezési módszerek eszköztárában tulajdonképpen ekkor nyert polgárjogot az árvíz oldaltározóba történő szabályozott kivezetése és visszatartása. Ez pedig messzire kihatott, tulajdonképpen a több mint 20 évvel később induló Vásárhelyi-terv Továbbfejlesztése elnevezésű tiszai fejlesztési programig vezetett.

Speciális építőmérnöki feladathoz, a völgyzárógátak földrengésbiztos tervezéséhez ad áttekintő útmutatást *Nagy László* és *Illés Zsombor* cikke. A völgyzárógátak eddig előfordult tönkremeneteleinek rövid történeti bemutatása után módszertani áttekintést adnak a tervezés során alkalmazható különböző számítási eljárásokról. Bár ritkán előforduló feladat ma hazánkban a völgyzárógátak tervezése, mégis fontos ismereteket közöl a cikk az építőmérnökök új generációja számára.

A hidrológiai mérések közül talán az egyik legnagyobb bizonytalansággal meghatározó típus a vízfolyások lebegtetett hordalékhozamának meghatározása. *Pomázi Flóra* és

*szerzőtársai* kétrészes cikket készítettek, bemutatva a nagy folyók lebegtetett hordalékvádorlásának új vizsgálati módszereit. A most megjelent első részben a továbbfejlesztett hordalékmonitoring módszertan részleteit mutatják be. A koncepcionális elképzelés egy integrált megközelítést ajánl, amelynek két fő eleme van a terepi adatgyűjtés tekintetében: 1) part menti, folyamatosan működő mérőrendszer kialakítása biztosítaná a hordalékvádorlás időbeli változékonyságának folyamatos feltárását, amit 2) kiegészítő expedíciós mérésekkel szükséges kalibrálni. A folyamatos mérés szignifikáns előrelépést jelentene a jelenleg alkalmazott hazai előírással szemben, amely során évente öt, előre meghatározott alkalommal történik lebegtetett hordalék-mérés. A Szerzők álláspontja szerint „az új vizsgálati módszerrel a nagy folyók lebegtetett hordalékvádorlásának tér- és időbeli felbontása jelentősen növelhető, a monitoring rendszer részletgazdag információkkal szolgálhatna a folyók hordalékjárásához kapcsolódó feladatok kiszolgálására, s a hordalék-mérések időigénye (terepi mérések, laboratóriumi elemzés stb.) is jelentősen csökkenne”.

*Kovács Attila* cikkében a felszín alatti víztestek egy adott lehatárolt részén hasznosítható vízkészlet Mennyiségi Igénybevételi Határértéke (Mi) meghatározásának szempontjaival és modellezési hátterével foglalkozik, ezen belül is az Mi területre vonatkozó numerikus modellezés útján történő meghatározásának javasolt módszertanát tekinti át.

Az öntözés szerepe ismét növekszik a hazai mezőgazdasági termelésben. *Mohammad Alobid* és *Pék Éva* cikkükben a nyomásos öntözőrendszerek teljesítményértékelési módszereivel foglalkozik, azon célból, hogy az ilyen rendszerek megbízhatósága növelhető legyen. Bemutatják a nyomásos öntözőrendszerekben a változó vízmennyiség kijuttatáshoz és nyomáshoz való alkalmazkodás érdekében kifejlesztésre került Flow Upstream Control System (FLUCS) modellt és annak alkalmazási módszertanát, melynek segítségével elemezhető a kijuttatás- és nyomásszabályozó eszközök hatása a hálózatok elosztási szakaszain (felvízi szakaszán, elosztási csomópontoknál és a hidránsoknál).

Hazai kis és közepes vízgyűjtők vízkészleteivel való jobb gazdálkodás megkívánja az ezen vízgyűjtőkön megépített tározók vízállása rövid távú előrejelzésének minél pontosabb meghatározását, különös tekintettel a mind gyakoribbá váló villámárvizekre, melyek ezen vízgyűjtőkön igen gyors változásokat idézhetnek elő. *Nagy Eszter Dóra* kutatása során a Kebele tározónak és vízgyűjtőjének csapadék-lefolyás modelljét készítette el a tározó vízállásának rövid távú előrejelzése érdekében. A kidolgozott relatíve egyszerű modellel is bizonyította, hogy a csapadék nagyságrendileg megfelelő előrejelzése esetén lehetséges a tározó vízállásának deciméteres pontossággal történő modellezése, még egy ilyen egyszerű modell alkalmazásával is.

FÓRUM rovatunkban *Ákoshegyi György* mutatja be az MHT Balneotechnikai szakosztály történetét, tevékenységét. A Szerző, mint a szakterület kimagasló képviselője és a szakosztály elnöke, a cikkben röviden taglalja az elmúlt



évtizedek balneotechnikai kihívásait a fertőtlenítés, ultra-szűrés és a fürdők üzemeltetése területén. Rövid összegzésében felhívja a figyelmet arra, hogy a fürdőkkel és természetes ásvány- és gyógyvizekkel való gazdálkodás fontos szakmai feladat, ennek a képzése és a fiatal szakemberek bevonása elengedhetetlen a sikeres vízgazdálkodás megvalósításához.

Szintén a FÓRUM rovatban adunk számot arról, hogy az MHT Elnöksége Külföldi Tiszteleti Taggá választotta *Prof. Dr. Mitja Brilly*-t, a Ljubljani Egyetem Hidrológiai és Vízépítési Tanszékének vezetőjét és *Prof. Dr. Franz Nobilis*-t, az Osztrák Hidrológiai Társaság (ÖGH) alapító tagját. *Franz Nobilis* professzornak a díj átadásakor elhangzott angol nyelvű előadásából készült cikkét is közöljük, amiben bemutatja az Osztrák Hidrológiai Társaság megalkulásának történetét, céljait, szervezetét és jelenkori tevékenységét.

Az életének 77. évében elhunyt kiemelkedő építőmérnökről, az MHT Vízépítési szakosztálya vezetőségének évtizedeken keresztül aktív tagjáról, *dr. Tóth Lászlóról* emlékezik meg nekrológiájában *Rácz Tibor*, a szakosztály jelenlegi elnöke, az MHT titkára. Felidézi *dr. Tóth László* szakmai életútját, amely a Mélyépterv állami vállalatától, majd annak felbomlása után az egyik legjelentősebb utód-szervezetéhez a Mélyépterv Komplex Mérnöki Zrt-ig vezetett. *Dr. Tóth László* tervezői munkája mellett aktívan részt vett szakmai szervezetek munkájában, és oktatta a fiatalabb mérnök generáció tagjait különböző egyetemeken. Szakmai munkáját számos kitüntetéssel ismerték el. Távo-zása nagy veszteség az építőmérnöki szakmai közösség számára.

Két könyvismertetéssel zárul a mostani lapszám. Az elsőben *Fejér László* rovatvezetőnk mutatja be *Csima Péter* Mikoviny Sámuelről, az építésről és tájalakítóról írott könyvét. A 18. század jeles mérnökéről, Mikoviny Sámuelről számos könyv jelent már meg, ezért azt hihetnénk,

hogy amit csak lehet, megírtak már korszakos munkásságáról, de *Csima* professzor gazdag képanyaggal kiadott könyve számos új adalékkal szolgál. Erre mutat rá a könyvismertetés és ajánlja elolvasásra a könyvet, már csak azért is, mert az eddigi tanulmányok, könyvek egyike sem tűzte céljául Mikoviny építészeti, vízépítési terveinek bemutatását, illetve szakmai elemzését.

„Ezt a könyvet minden integrált vízgazdálkodással foglalkozó magyar szakembernek el kell olvasnia. Adatközlésével nélkülözhetetlen forrás a kor történelmével és politikájával foglalkozó kutatók számára is” kezdi könyvismertetését *Szöllősi-Nagy András Sámsondi Kiss György*: *A Duna mégis összeköt – Egy kormánybiztos vallomásai* című könyvéről. Majd így folytatódik a könyvismertetés: „A hézagpótló kötet gerince egy harminc éve kibeszéltetlen történet genezise és torz fejlődése beágyazva a kor történelmi kontextusába, egy akkor felelős kormánytisztviselő elbeszélésében. Ez a gerinc a Bős–Nagymaros komplex vízgazdálkodási rendszerrel (BNV) kapcsolatos szomorú végjáték kronológiája, önjelölt főszereplőinek származásának vizsgálata a kor honi politikájának kontrasztos hátterével”. A könyvismertető okán *Szöllősi-Nagy András*, aki maga is aktív résztvevője volt az 1980-as, 1990-es évtizedek fordulóján a BNV-vel kapcsolatos vitáknak, itt is nagy nyíltsággal fejt ki személyes véleményét az akkor és azóta történetekről.

Azt gondolom, hogy a 100. évfolyam 2. száma olyan tartalommal rendelkezik, amelyet jó szívvel ajánlhatok az MHT tagsága és a vizekkel való gazdálkodásban érintett szakemberek figyelmébe.

Jó olvasást!

*Dr. Fehér János*  
címzetes egyetemi tanár  
a Hidrológiai Közöny főszerkesztője

## Vizeink minőségének védelme - az MHT Környezetvédelmi Szakosztály tevékenysége tükrében

Varga Pál\*, Kerekesné Steindl Zsuzsa\*

\*Magyar Hidrológiai Társaság, Környezetvédelmi Szakosztály (email: vargapaldr@gmail.com ; zs.steindl@upcmail.hu)

### Kivonat

A Magyar Hidrológiai Társaság Környezetvédelmi Szakosztályát a Társaság 1997-ben - a vizek és vízi környezet védelmének, a vízgyűjtőgazdálkodás komplex rendszerén belüli erőteljesebb érvényesítése érdekében - hozta létre. Szakmai bázisa egyaránt kiterjed a vizek minőségével foglalkozó állami és nem állami intézményekre, egyetemekre, közoktatási intézetekre, társ szakmai szervezetre. Szakosztály mindenkori feladatának tekinti a vízminőségvédelmi szakterületen történt események, folyamatok, eredmények bemutatását. Célkitűzése, hogy a vizeinkre hatással lévő és a környezet valamennyi elemét érintő szemléletet érvényesítse saját tevékenységében, a Társaság többi szakosztályával, területi szervezeteivel együttműködve. E cikk a Hidrológiai Közöny 100 éves évfordulója alkalmából, a szakosztály által szervezett szakmai fórumok tükrében szándékszik bemutatni a vízminőségvédelmi szakterület múltját, a vizeink minőségi állapotát, s a jövőben szükségesnek tartott fejlesztési irányokat.

### Kulcsszavak

Vízminőségvédelem, vízminőség szabályozás, vízminőségvédelmi intézmény rendszer, vizeink minősége, vízminőségi monitoring, kritikus vízminőségi állapotok, vízszennyezések, vízminőségi kárelhárítás, környezeti kármentesítés, MHT, környezetvédelmi szakosztály.

## Water quality protection in Hungary - in the light of the activities of the Environmental Section of the Hungarian Hydrological Society

### Abstract

The Environmental Section of the Hungarian Hydrological Society was established in 1997 in order to strengthen the protection of water and aquatic environment within the complex system of river basin management. Its professional base covers both state and non-state institutions dealing with water quality, universities, their public education institutes, and associate professional organizations. The task of the Section is to present events, processes and results in the field of water quality protection. Its aim is to enforce an approach that influences our waters and encompasses all aspects of the environment in its activities and in collaboration with other sections and territorial organizations of the Society. On the occasion of the 100<sup>th</sup> anniversary of the Hungarian Journal of Hydrology, this article intends to present the past in the field of water quality protection, the current quality status of our waters, and the directions of development we consider necessary in the light of the professional forums organized by the Section.

### Keywords

Water quality protection, water quality regulation, water quality institution system, water quality monitoring, water quality monitoring, critical water quality conditions, water pollution, water quality damage prevention, environmental remediation, MHT, environmental protection department.

### A VÍZMINŐSÉGVÉDELME HELYE, MEGJELENÉSE A SZAKOSZTÁLY TEVÉKENYSÉGÉBEN

A vizekkel kapcsolatos – „kevés víz–sok víz–szennyezett víz” – hármas fenyegetettség tematikája közvetlenül vagy közvetve kihat a Társaság minden szervezeti egysége, így a Környezetvédelmi Szakosztály tevékenységére is. Bár a szlogen új keletű, tartalma már 1977-ben, az akkor külön Környezetvédelmi Bizottság, majd Szakosztály megalakításának indokolásában is kifejeződik: „Szükség van egy olyan szervezeti egységre, mely a környezetvédelem sajátos módszereit alkalmazza a vízgyűjtő-gazdálkodás komplex rendszerében. Foglalkozik a vizek és a vízi-környezet védelmével, a vizek és a váratlan vízszennyezések által okozott károk elhárításával, a víz és a többi környezeti elem, valamint azok igénybevétele és terhelése általi kölcsönhatásokkal...” (Hidrológiai Közöny 1978). Tükrözi ezt a Szakosztály Vezetőségének célkitűzése is: „... hogy a Magyar Hidrológiai Társaságon belül vertikálisan és horizontálisan is megjelenjen, egyrészt a vizek minőségét és a vízi környezetvédelmet érintő témák szakosztályon belüli megvitatásával, másrészt a többi szakosztállyal együttműködve a környezet valamennyi elemét érintő szemlélet érvényesítésével”.

Megalakulása óta a Környezetvédelmi Szakosztály rendszeresen foglalkozott a vízminőségvédelmet érintő aktuális és várhatóan nagyobb érdeklődést kiváltó témákkal:

- jelentősebb vízszennyezések: (1974. évi Dunai pakura,) 1981. évi váci ivóvíz, 1991. évi balatoni angolna, 2000. évi tiszai cianid, 2010. évi vörös iszap,
- vízminőségi kárelhárítási tervezés, kármentesítési technológiák, környezeti kármentesítési programok, projektek,
- vízminőségi helyzetértékelés, vizeink állapota, hazai vizeink vizsgálata és minősége, határvízi vizsgálatok, balatoni és velencei tavi vízminőség romlás, Duna, Tisza, RSD, kisvízfolyások vízminőségi állapota, holtágak vízminőségi problémái, EU környezeti állapot, nemzetközi Duna-expedíciós mérések,
- vízvizsgálati módszerek, vizsgálatok minőségbiztosítása, labor- akkreditáció, vízvizsgálati követelmények,
- szennyezőanyag csökkentési projektek, szennyvíztisztítási, iszapkezelési módszerek, eredmények, szennyvizek, csapadékvizek hatásai,

- hazai és EU-s szabályozások, VKI, nitrát direktíva végrehajtása, SDG - hazai feladatok,
- klímaváltozás, környezetvédelmi, vízminőségi és igazságügyi szakértés.

Az említett témák megjelenések formái a szakosztály tevékenységében:

- előadói ülések rendezése, saját és más MHT szakosztályokkal, más szakmai intézeteikkel, cégekkel (VIZIG-ek, Felügyelőségek, Nemzeti Parkok, Víz-Szennyvíz cégek, vegyipari -, gyógyszeripari vállalatok, egyetemi, MTA szakintézet) közösen,
- részvétel vándorgyűléseken, szakkikkkel, külön szekcióval (RSD: 2019. Pécs),
- a Szakosztály tagjai rendszeresen publikálnak szakkikkeket az MHT kiadványokban, hazai és külföldi szaklapokban. (Varga 1994, Fekete 2009, Lakatos 2014, Tóth 2016, Steindl 2017, Zsuga 2018),
- Több tagtársunk vállal feladatokat a hazai fiatal szakemberek képzésében oktatóként, vendég előadóként, konzulensként, doktori iskolákban (BME, Debreceni-, Szegedi - Egyetem, Mérnök Kamara).

Szakosztályunk vallja, hogy a jövő meghatározó értékei a továbbiakban is csak a széleskörű ismeret átadásban, a szakmai műhelymunka elmélyítésében, a szellemi tőke és a szakmai tapasztalat átadásában gondolhatók tovább.

A cikk további fejezetei összefoglalóit adják azoknak a témáknak, melyeket a Szakosztály tevékenysége során tárgyalt, megvitatt, továbbadott.

## A HAZAI VÍZMINŐSÉGVÉDELMI SZABÁLYOZÁS

Már az 1950-es években megjelentek Magyarországon is azok a szabályozások, amelyek alapján a szennyvizet csak megfelelő tisztítás után lehetett a befogadóba bevezetni. A következő évtizedekben tovább bővültek a vízvédelmi előírások, a szennyvíztisztítás kötelezettségét kiterjesztették az ipari üzemekre is, bevezetésre került a szennyvízbírság és később a csatornabírság jogintézmény rendszere, immissziós és emissziós határértékek kerültek kidolgozásra, majd kijelölésre kerültek a szennyezésre leginkább érzékeny, ún. „kiemelt” vízminőségvédelmi területek, amelyek esetében szigorodtak a szennyvízbevezetéssel kapcsolatos határérték és bírságtétel előírások. Bevezetésre került a vízminőségvédelmi terv fogalma is, és ennek alapján a hatóságok a progresszív bírságtételek enyhítésével ösztönözték a vállalatokat a korszerű vízvédelmi beruházásokra, technológiai fejlesztésekre. Az élővizekbe bevezetett káros anyag mennyiségét a hatóságok laboratóriumi mérésekkel ellenőrizték. A felszín alatti vizek védelmének a szabályozása is fokozatosan fejlődött, műszaki szabályozások készültek, melyek a kitermelésre kerülő felszín alatti vízkészletek védelmét is szolgálták. Előírássá került a vízföldtani szakvélemény és napló készítésének, valamint a fúrt kutak katasztrézésének, a hasznosításra igénybe vett vízbázisok védelme érdekében a védőterületek kijelölésének kötelezettsége is.

1995-ben mind a vízgazdálkodás, mind a környezetvédelem területén új törvény lépett hatályba, melynek eredményeképpen jelentős mértékben megújításra került a vizek védelmét szolgáló szabályozási rendszer is. A környezetvédelmi

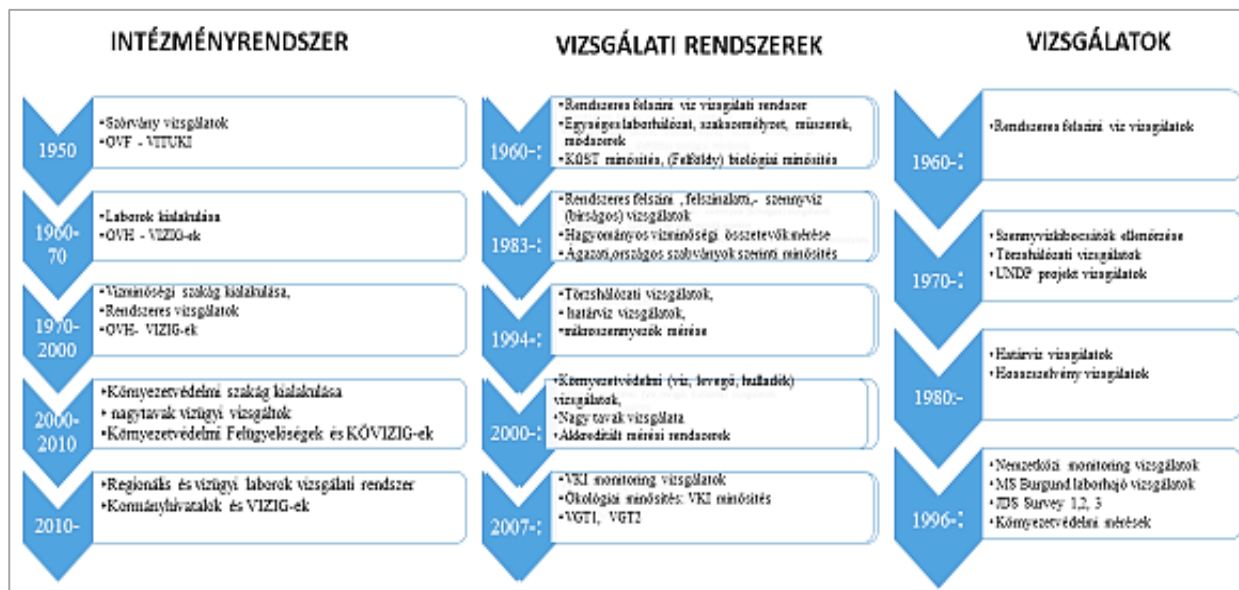
törvény (1995. évi 53. törvény) valamennyi környezeti elem vonatkozásában lefektette a környezeti célkitűzéseken alapuló, egységesen alkalmazandó szabályozási elemeket, pl. a szennyező fizet elvet, a szennyezés megelőzés és kárfelelősség elvét, a költségmegtérülés elvét, a védett területek különös szabályokkal való védeltségének erősítését. Valamennyi környezeti elem vonatkozásában egységes elvi alapokra helyezte az engedélyezési, hatósági ellenőrzési tevékenységet, definiálta az emissziós és immissziós határértékrendszer fogalmi eszközrendszerét, valamint a környezet állapotának megfigyelésével kapcsolatos felelősségi köröket. A vízgazdálkodási törvény (1995. évi 57. törvény) előírásai megalapozták a vízkészletek felhasználására, hasznosítására, a vizek kártételeinek mérséklésére vonatkozó szabályozásokat, és lefektették a vízjogi engedélyezési tevékenység, a szennyvizek összegyűjtésével és tisztításával, az ivóvíz ellátással, az ivóvízbázisok védelmével kapcsolatos szabályozási elveket.

A vizek védelmével kapcsolatos szabályozás fejlődésében az egyik legjelentősebb lépést az Európai Unió által 2000. december 22-én hatályba léptetett közös vízpolitikai stratégia, a 2000/60/EK Víz Keretirányelv (VKI) hazai joggyakorlatba való átültetése jelentette. A VKI egy átfogó és összefüggő szabályozási rendszer bevezetését, a fenntartható vízügyi politika kialakítását irányozta elő, megkövetelve, hogy az egyes vízgyűjtőkön osztozó országok összehangolják vízgazdálkodási tevékenységüket. A komplex, a felszíni és a felszín alatti vízkészleteket, valamint a vizek mennyiségi és minőségi kérdéseit együttesen kezelő szabályozás a felszíni vizek jó ökológiai és kémiai, a felszín alatti vizek jó mennyiségi és kémiai állapotának elérését tűzte ki célul 2015-ig, illetve legkésőbb 2027-ig. Ennek a célnak az elérése szükségessé teszi a más ágazatokra is kiterjedő integrált szemléletet és összehangolt intézkedési programok tervezését és végrehajtását, és a társadalom széleskörű bevonását a tervezési és végrehajtási folyamatba. A VKI elveinek átültetése Magyarországon szinte valamennyi korábbi vízvédelmi szabályozási elem további korszerűsítését vonta maga után, többek között a vízgyűjtő-gazdálkodási tervek elkészítésére, az állapotértékelési és monitoring előírásokra vonatkozóan (Steindl 2017).

## VÍZVÉDELMI INTÉZMÉNYRENDSZER

A vízminőségvédelmi szabályozás megkövetelte az intézményrendszer fejlesztését is. A Vízügyi Igazgatóságok – Vízminőségi Laboratórium felállításával - már a 60-s években megbízható vizsgálatok alapján adták ki a szolgáltatott öntözővízre vonatkozó engedélyeket. A korra jellemző gyakori vízszennyeződések kikényszerítették a vízminőség-vizsgálatok fejlesztését; az 1981. évi váci ivóvíz szennyezés „tette lehetővé” a csúcslaboratórium felállítását és a mikroszennyezők mérésének elindítását. (Bozzayné 1983). A szennyvízbírság intézményrendszerének bevezetésével, s az önálló Vízminőségvédelmi Osztályok megszervezésével kialakult a vízminőségi szakág is. Ekkortól beszélhetünk szervezett vízminőségvédelemről. A szakág akkori feladata a víz minőségének rendszeres mérésétől, a kedvezőtlen állapotok megelőzésétől, az egyre gyakoribbá váló vízminőség-romlások mérséklésétől a vízminőségi kárelhárításig terjedt ki. Az 1. ábra összefoglalja az intézményrendszer, a végzendő vizsgálatok és a kapcsolódó vizsgálati módszerek alakulását a kezdetektől napjainkig.





1. ábra. Vízminőségvédelmi intézményrendszer, vizsgálatok, mérési módszerek  
Figure 1. Water quality protection institution, analysis, analytical methods

### VÍZMINŐSÉGI MONITORING RENDSZER

A felszíni vizek minőségének rendszeres jellegű monitorozása az 1950-es években kezdődött el a Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Intézet (VITUKI) szakmai irányításával és a vízügyi (később környezetvédelmi felügyelőségi) laboratóriumi hálózat közreműködésével. Kezdetben nagyszámú állomásról (kb. 800 db) történtek kis gyakoriságú (4 minta/év) és kb. 25 vizsgálati paraméterre kiterjedő mérések. 1983-tól vízügyi ágazati szabvány írta elő a vízminőségi törzshálózati helyeket, vizsgálati gyakoriságokat és az értékelési, minősítési irányelveket. Az MSZ-10-172/1-83 szabvány 250 országos és további 287 egyéb mintavételi helyet jelölt ki. Ez a felszíni vízminőségi törzshálózati rendszer a rendszerváltásig kisebb módosításokkal érvényben volt. Az ezt követő MSZ 12 749:93 szabvány csökkentette a mintavételi helyek számát, növelte a gyakoriságot és öt osztályos minősítést írt elő. Tartalmazta a működésének alapkövetelményeit, valamint a vízminősítési rendszer leírását. Összesen 109 folyó és állóvíz 240 szelvényében történtek általában kétheti gyakorisággal mintavételek. Évi mintegy 6 000 vízmintából 30-40 féle (fizikai, kémiai, biológiai, mikrobiológiai, nehézfém) paraméter vizsgálatára került sor (Varga 1994). A 2006-ig – helyenként még napjainkban is – működő törzshálózati rendszer biztosítja a hosszú idejű vízminőségi mérési adatsorokat.

A korábbi megfigyelőrendszer továbbfejlesztésével került kialakításra a VKI előírásainak megfelelő új monitoring rendszer, mely 2007. január 1.-től működik. A monitoring hálózat három szintű monitoring alprogramokból épül fel (feltérítési, operatív és vizsgálati), amelyek különböző vizsgálati célokat szolgálnak. A mintavétel gyakorisága kielégíti a VKI előírásait, mely az alprogramoktól és a vizsgálat paramétereitől függően különböző lehet (1-12 minta/évtől 1-12 minta/6 évig). Az analízisek lefedik valamennyi, az irányelv által előírt minőségi paraméter vizsgálatát. Az 5 féle biológiai elem megfigyelése (fitoplankton, fitobentosz, makrofita, makrozoobentosz és halfauna) az

ökológiai állapot meghatározását szolgálja. Az ún. kiegészítő paraméterként rendszeresen meghatározásra kerülnek a különböző alap fizikai-kémiai komponensek (pl. szervesanyagok, tápanyagok, sókomponensek, vízgyűjtő-specifikus szennyezőanyagok), valamint a releváns hidromorfológiai jellemzők is. A VKI nagy hangsúlyt helyez a speciális, antropogén eredetű kémiai szennyezőkre, így jelenleg kb. 45 féle elsőbbségi veszélyes anyag rendszeres monitorozását írják elő a jogszabályok. Az operatív monitoring alprogramokban a mintavételi gyakoriság alacsonyabb, mint a feltérítési monitoring alprogramokban, általában csak évi 4 alkalommal, és csak az indikatív paraméterek vizsgálatára terjednek ki a vizsgálatok.

A felszíni vizek minőségének vizsgálata minden paraméterre kiterjedően, havi gyakoriságú mintavétellel, összesen 118 folyó és 26 állóvíz mintavételi ponton történik 2 feltérítési monitoring alprogram keretében, valamint kisebb gyakorisággal, összesen 1134 mintavételi helyről származó mintákból a 8 operatív alprogram keretében. Speciális esetekben (pl. rendkívüli vízszennyezés) vizsgálati monitoring mintavételi program indul, és a vizsgálatok a problémás paraméterekre terjednek ki. A VKI vízminőségi monitoring rendszer működtetését – a vízvédelemért felelős miniszter szakmai irányítása alapján – a kormányhivatalokhoz tartozó akkreditált környezetvédelmi hatósági laboratóriumi hálózat (jelenleg 7 laboratórium) végzi, állami feladatként. A vízrajzi (mennyiségi) mérőhálózat üzemeltetését a vízügyi igazgatóságok látják el, biztosítva az ökológiai állapot értékeléséhez szükséges vízhozam és vízállás adatokat, valamint a morfológiai állapotra vonatkozó információkat.

A VKI programon kívül a jogszabályokban kijelölt ún. „védett területeken” (kijelölt fürdővizek, felszíni vizes ivóvízbázisok, nitrát érzékeny területek stb.) és a kiemelt fontosságú felszíni vizeink esetében speciális monitoring rendszerek is üzemelnek (pl. Felső-Duna szigetközi térsége, Balaton, Velencei-tó, Tisza-tó). E feladatokban más minisztériumi tárcáknak (környezetvédelemért,

népegészségügyért felelős minisztériumok) is vannak feladatai.

A fontosabb határvizeken - a hazai monitoring rendszerrel összehangoltan - a szomszédos országokkal közös vízminőségi monitoring mérések történnek évtizedek óta, melynek alapját a bilaterális határvízi egyezmények képezik. Mindezeket túl a Duna folyóra vonatkozóan az un. Nemzetközi Vízminőségi Monitoring Hálózat (TNMN) került kijelölésre a Nemzetközi Duna Védelmi Egyezmény (ICPDR) keretében, a dunai országok (14) együttműködésében. Ennek kiegészítéseként hatévente a teljes Duna szakaszon un. Közös Duna Vizsgálatokra (Joint Danube Survey - JDS) is sor kerül.

A felszín alatti vizek korábbi vízminőségi törzshálózatainak a bővítésével alakult ki a 2007. január 1.-től működő, a VKI követelményeinek megfelelő vízminőségi-mérőhálózat. A felszín alatti vizek monitoring rendszere részben állami, részben a vízfelhasználók által működtetett megfigyelések eredményeiből tevődik össze. A VKI szerint a felszín alatti vizek esetében feltáró és operatív monitoring programot kell működtetni. Összesen 6 féle feltáró program működik Magyarországon, ebből 2 mennyiségi, 4 kémiai alprogram. A mennyiségi monitoring mérések során a vízszint és vízhozam észlelése történik meg. A vizsgált minőségi paraméterek általában a VKI által előírt alap fizikai-kémiai paraméterek vizsgálatára terjednek ki, de egyes kémiai alprogramban egyéb jellemző szennyezőanyagokat, pl. oldószereket, szénhidrogéneket és egyes specifikus rákkeltő vegyületeket (pl. benzol, vinil-klorid), nehézfémeket is vizsgálnak. A mintavétel gyakorisága általában évi 1-2 alkalom. Az operatív monitoring 4 alprogramot tartalmaz, melyek célja a speciálisabb minőségi problémák felderítése. Összesen kb. 1 750 kútból történnek rendszeres analízisek a kémiai és mennyiségi állapot meghatározása érdekében.

### A VÍZMINŐSÉGI ÁLLAPOT ÉRTÉKELÉSÉNEK MÓDSZERTANA

Az 1960-70-es években a felszíni vizek vízminőségi állapotának értékelése általában a vízhasznosítás (pl. ivóvíz, öntözővíz) szempontjainak figyelembevételével, hazai és nemzetközi módszertanok, műszaki irányelvek felhasználásával történt. Ezt az 1994. évtől bevezetett MSZ 12 749 számú magyar szabvány minősítési rendszere váltotta fel, amely már kismértékben figyelembe vette az ökológiai szempontokat is az értékelés alapelveként. A vizsgált paramétereket 5 csoportba osztotta (oxigénháztartás-, tápanyagtartalom-, mikrobiológiai-, mikroszennyező- és az egyéb mutatók csoportjai), és az egyes komponenscsoportok minősítése öt osztályos rendszerben (kiváló, jó, tűrhető, szennyezett, erősen szennyezett), az évente előforduló legkedvezőtlenebb koncentrációértékek alapján történt. Ugyanaz a határérték rendszer vonatkozott valamennyi víztestre. A felszíni vízkészletek vízminőségi állapotáról évente értékelés és vízminőségi térkép készült (Varga 1994).

Napjainkban a 2007 óta működő VKI monitoring rendszer mérési adatainak értékelése az EU tagországokban alkalmazott egységes, összehasonlítható elvek alapján történik. Az állapotértékelés elsősorban az ökológiai szempontokat helyezi előtérbe, ennek érdekében ún. típus-specifikus minősítési rendszer került kialakításra Magyarországon. 10 folyóvíz és 8 állóvíz típus került kijelölésre. A VKI alapelve szerint meghatározásra kerül víztestenként az ökológiai állapot és a kémiai állapot, illetve az összesített vízminőségi állapot. Az „egy rossz – mind rossz” elvet kell alkalmazni, így mindig a legrosszabb minősítési elem határozza meg az összetett minősítést, és az ökológiai és kémiai vízminősítés eredménye közül a gyengébb határozza meg az összesített állapotot. Az ökológiai állapot osztályozása az un. ökológiai minőségi arány (EQR) formájában történik, 5 osztályos skálán (kiváló, jó, mérsékelt, gyenge, rossz). Az aktuális állapotot a víztípusra jellemző, az antropogén szennyezésektől, hatásoktól kvázi mentesnek tekinthető ún. referencia állapothoz kell viszonyítani. (A mesterséges és az erősen módosított állapotú víztestek esetén a minősítés kiindulási alapja a maximális ökológiai potenciál, amely a víztest funkciójának fennmaradása mellett elérhető legjobb vízminőségi állapotnak felel meg.) Az ökológiai állapot értékeléséhez a biológiai mutatókon túl figyelembe kell venni a monitoring során vizsgált egyéb, az ökológiai állapotot befolyásoló paramétercsoportot is. A biológiai-, fizikai-kémiai-, valamint a hidromorfológiai elemek osztályozására hazai vízminőségi határértékek lettek meghatározva víztípusonként, ill. típuscsoportonként. Az állapotértékelés az éves átlagértékek alapján történik.

A felszíni vizek kémiai állapotát az emberi egészségre káros anyagok vízi környezetben való előfordulása határozza meg. A kémiai állapot minősítése Magyarországon is az elsőbbségi anyagoknak (45 féle) az EU szinten megállapított környezetminőségi határértékei (EQS) alapján történik, amelyek a magyar jogrendbe is áttükrítésre kerültek. A minősítés két osztályos rendszerben történik. „Jó” állapotú a víz, ha nincs határérték-túllépés, illetve „nem éri el a jó állapotot” („nem jó”) minőségű, ha van határérték-túllépés.

A felszín alatti vizek esetében a vizek állapotának minősítését szintén az EU szabályozáson alapuló módszertan alapján, a mennyiségi és a kémiai állapot meghatározásával kell elvégezni. A természetes háttérszint határértékek meghatározását is el kell végezni annak érdekében, hogy minősíteni lehessen a felszín alatti víztesteket. A felszín alatti víztest kémiai állapota akkor jó, ha a környezetben természetes körülmények között is előforduló anyagok koncentrációja a háttérértékekhez közeli, az ember által előállított szintetikus anyagoké pedig nullához közeli, azaz a kimutatási határt nem éri el. A mennyiségi és kémiai állapotot különböző tesztekkel vizsgálják. Ha egyetlen teszt is azt mutatja, hogy egy víztest gyenge állapotú, akkor a víztest összességében a „gyenge” minősítést kapja, ekkor intézkedni kell annak érdekében, hogy a víztest ismét „jó” állapotba kerüljön. Amikor a víztest állapota a jó és a gyenge határán mozog, vagy negatív trend figyelhető meg

a vízminőség hosszú távú alakulásában, vagy a módszerek bizonytalansága miatt az állapot nem dönthető el egyértelműen, a víztest a „jó, de gyenge kockázatú” minősítést kapja, amely további intézkedéseket von maga után.

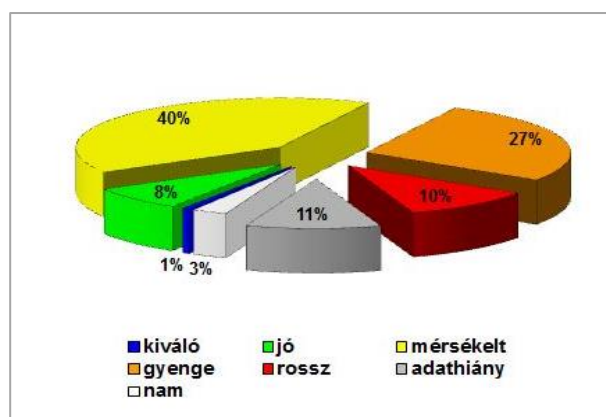
### VIZEINK MINŐSÉGE

Folyóink minőségének tudományos értékű mérési eredményeiről 1873-ban Balló M. „A „Duna folyam vegyi viszonyairól” című MTA közleménye számolt be (Balló 1873). „A Budapestet szelő Duna vizének ismerete... fontos... Magyarország fővárosa ugyanis ivóvizét a Dunából meríti, s nemsokára a nyers dunavizet is mesterséges módon, azaz szűrés által fogják tisztítani.” ... „Az 1 liter vízben foglalt szilárd alkatrészek összege 0,1792 grammnak találtatott... az iszapolt anyagoknak, ugyanúgy, mint a vízállásnak, két maximuma volt...”. Lesenyei a Soroksári Duna-ág „eliszapolódását” és a pesterzsébeti, kispesti szennyvizek hatását részletesen vizsgálta, s erről 1954-ben a Vízügyi Közleményekben számolt be (Lesenyei 1954).

A felszíni vizek, elsősorban a folyók vízminősége az 1950-es évek végétől kezdve gyors ütemben romlott. Ennek oka elsősorban az volt, hogy az élővizekbe nagy mennyiségben került bevezetésre kommunális szennyvíz, gyakorlatilag tisztítatlanul, vagy csak minimális mértékű tisztítás után, mind a hazai, mind pedig a felvízi (külföldi) vízgyűjtőterületekről. A nagy volumenű, korszerűtlen műszaki színvonalú, a környezetvédelmi szempontokat nélkülöző nehézipar és vegyipar különösen hozzájárult ahhoz, hogy az élővizek vízi élővilága degradálódjon. Egyes kisebb vízfolyások esetében a természetes flóra és fauna gyakorlatilag ki is pusztult. Több nagyobb folyó (pl. Tisza, Sajó, Bodrog, Szamos, Körösök), amelyeknek a vízgyűjtőin például nagyobb nehézipari üzemek működtek, szennyvizüket az élővízbe bocsátva, az 1960-70-es években erősen szennyezetté váltak. A nagyipari jellegű mezőgazdaság nagy mennyiségben, gyakorlatilag kontrolálatlanul alkalmazott műtrágyát és többek között olyan növényvédő szereket, amelyek közül többet, súlyosan mérgező hatóanyagtartalmuk miatt ma már nem is lehet forgalomba hozni, de sok esetben még mindig kimutatható a korábbi szennyezésük az élővizekben. A rendkívüli, „havária” jellegű vízszennyezés is gyakori volt annak idején, és sok esetben külföldi vízgyűjtő-területről származott.

Az 1960-70-es években bevezetett vízvédelmi szabályozások hatásának köszönhetően is, a vízminőség romlás mértéke valamelyest csökkenni kezdett. De jelentősebb mértékű vízminőség javulást csak az elmúlt évszázad utolsó évtizede hozott. 1988 és 2000 között, részben a társadalmi változásokhoz köthető gazdasági (ipari, mezőgazdasági) visszaesés következett be Magyarországon, valamint néhány felvízi szomszédunknál. Ezzel egyidejűleg ugyanakkor Ausztriában, Németországban a szennyvíztisztítás terén nagymértékű fejlesztések történtek. Mindezek együttesen jelentősen csökkentették a vizek terhelését.

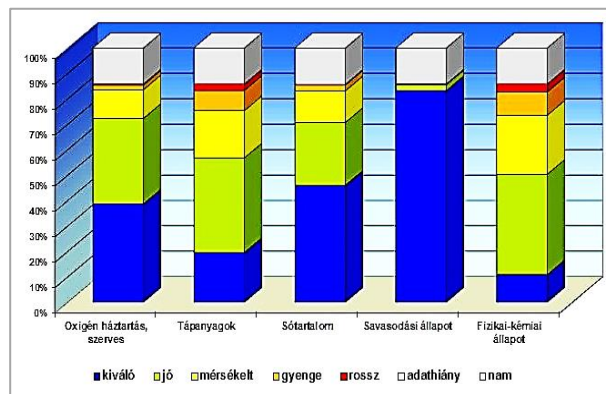
Az EU Víz Keretirányelve (VKI) előírásai szerint elkészített, 2009. december 22-én közzétett első vízgyűjtő-gazdálkodási terv (VGT1) készítése során első alkalommal történt meg a rendelkezésre álló, a VKI elveinek és metodikáinak megfelelő monitoring eredmények ökológiai és kémiai állapotértékelése, melyet a 2015. december 22-i határidővel felülvizsgált, ún. VGT2 keretében újraértékeltek a szakértők. A VGT2 állapotértékeléséhez felhasznált, 2008-2012 közötti időszakra vonatkozó adatok alapján a felszíni víztestek, azaz a vízfolyások és az állóvizek (összesen 1 078 db) 9%-a volt „kiváló”, illetve „jó” állapotban, míg a víztestek mintegy három-negyed része további javító intézkedést igényelt a jó állapot elérése érdekében (2. ábra).



2. ábra. A felszíni víztestek ökológiai állapota a víztestek száma szerinti megosztásban (VGT2 2015)

Figure 2. Ecological quality of surface waters in ratio of total water bodies (VGT2 2015)

Az ökológiai állapotot elsősorban a biológiai elemek állapota határozza meg. Az ökológiai állapotot támogató fizikai-kémiai elemek alapján a biológiai állapothoz viszonyítva általában kedvezőbb a kép. A minősített víztestek közül a folyók esetében 59%, az állóvizek esetében 44 % került a „jó” és „kiváló” osztályba. Ezen belül a paramétercsoportok közül a tápanyagtartalom és az oxigén-háztartás (szerves anyagtartalom) szerinti osztályozás hozta a leggyengébb eredményt, amely azt igazolja, hogy a felszíni vizek esetében Magyarországon az eutrofizáció még ma is jelentős mértékű, mely részben emberi hatásra, részben természetes jelenségként következik be (3. ábra).



3. ábra. A felszíni vizek fizikai-kémiai állapota (VGT2 2015)

Figure 3. Status of physical-chemical parameters of surface waters (VGT2 2015)



Az értékelt felszíni víztestek kb. 85 %-a kémiai állapota „jó” állapotban volt, 15 %-a pedig nem érte el a jó állapotot, azaz „nem megfelelő” kémiai állapotban volt. Ugyanakkor a víztestek jelentős részére még mindig nem állt rendelkezésre elegendő vízminőségi információ, az elsőbbségi veszélyes anyagok monitoring hiányosságai miatt. Ezek az állapotértékelés során, mint „szürke” („ismeretlen állapotú”) víztest jelennek meg. A legtöbb problémát a fémek, a higany és a kadmium okozta. „Jó” kémiai állapot jellemző általában nagy tavainkra, illetve a vizsgált holtágainkra, ivóvíztározóinkra, szikes tavainkra.

A felszíni vízkészletek vízminőségi állapotát időnként jelentős mértékben rontják a rendkívüli szennyezések (haváriák), amelyek során rövid idő alatt a normál szintet meghaladó, lökésszerű szennyezőanyag terhelés érheti a vizeket. Ezek sokszor külföldi eredetű esetekből származnak. Az egyik legemlékezetesebb példa a 2000. év elején történt, amikor a Tisza romániai vízgyűjtőjén létesült bányászati zagytározóból származó nagy mennyiségű, cianid tartalmú szennyezés súlyos ökológiai károkat okozott a Tisza magyarországi szakaszán. (Erről a Környezetvédelmi Szakosztály – az Élőhelyvédelmi Szakosztállyal és az érintett MHT területi Szervezetekkel - minden évben közös előadó ülésen emlékezik meg.)

A felszín alatti vizek vonatkozásában a nem körülmint lakossági és gazdasági tevékenységek miatt a felszínhez közeli talajvizek szennyezettsége már a múlt század első felében sem tette lehetővé a legtöbb helyen az ivóvízcélú felhasználást a beépített területek térségében. Az 1960-70-as években a mezőgazdasági termelés intenzívebbé válása (pl. hígtrágyás állattartó telepek elterjedése, a műtrágyahasználat jelentős növekedése) hatására pedig a talajvíz nitrát szennyezettsége fokozatosan megnövekedett a mezőgazdasági területek jelentős részén is. Egyre több helyen váltak ismertté ún. rendkívüli felszín alatti vízszennyezések is (pl. benzinkutak környezetében), és világossá vált, hogy a talajvizek szennyeződése általában veszélyezteti a mélyebben elhelyezkedő felszín alatti vizek minőségét is.

Magyarországon több olyan vízminőségi komponens is van, amelynek a természetes háttértértéke viszonylag magas, miközben ugyanezek az anyagok antropogén eredetű szennyezés útján is bekerülhetnek a felszín alatti vízbe. Ilyen, természetes eredetű szennyezési problémát okozhat például az oldott vas, mangán, ammónium és arzén esetén a határérték feletti koncentrációk, főleg a porózus vízáadó rétegekben. A karsztvizeknél és a parti szűrőű vizeknél ez ritkábban okoz problémát, bár ezek a vízáadók nagyon sérülékenyek.

2009-ben, a VKI előírásai alapján készített első vízgyűjtő-gazdálkodási tervezés során elvégzésre került a felszín alatti vizek mennyiségi és kémiai állapotát együttesen figyelembe vevő integrált állapotértékelés is, amelyet 2015. évben a második vízgyűjtő-gazdálkodási terv

(VGT2) felülvizsgált. A 2015. évi értékelés alapján a 185 kijelölt felszín alatti víztest 53 %-a „jó” állapotban volt, 14 %-a „jó, de gyenge kockázatú” minősítést kapott, míg 33 %-a „gyenge” állapotban volt.

### VIZEINK MINŐSÉGE JAVULT, DE MESSZE VAGYUNK A VÍZMINŐSÉGI CÉLKITŰZÉSEKTŐL

Bár vizeink minősége az 1960-80-as évek erősen szennyezett állapotához képest javult, ez a kedvező kép inkább csak a kémiai állapotra jellemző, vizeink ökoszisztémái messze nem egészségesek, s továbbra is gyakoriak a kritikus vízminőségi állapotok. Az ilyen helyzetekre jellemző, hogy a vízhasználatok korlátozására, az esetlegesen bekövetkező környezeti károsodások megelőzésére, mérséklésére, kezelésére vízminőségvédelmi készütséget kell elrendelni.

A túlzott mértékű nitrogén és foszfor tápanyagok a vizekben eutrofizációt okoznak, melyek algavirágzáshoz, oxigénhiányos helyzetekhez vezetnek. 2018-ban a kedvezőtlen hidrometeorológia helyzet – az extrém alacsony vízállás és a tartós hóhullám egybeesése – miatt több vízfolyáson kellett vízminőségvédelmi készütséget bevezetni.

Az 1. táblázat a Ráckevei Soroksári Dunán mért vízminőségi paramétereket mutatja be. A Duna-ágon a felső szakaszi – bár az előírt határértékre tisztított – nagy mennyiségű szennyvíz bevezetés miatt állandó dunai hígító tápvízre van szükség. (A rendszer vízminőségének szinten tartásához alapvető, hogy az 1 m<sup>3</sup>/s szennyvízterhelés legalább 10-15-szörös hígítást kapjon.) Az adatok jelzik, hogy a Duna-ágot érő külső (és belső) terhelések miatt fokozott eutrofizációs viszonyok alakulnak ki, melyek – a víz betáplálás hiányában és a tartósan kb. 25-27 °C-os vízben – oxigén hiányos vízminőségi állapotot okoznak. Kritikus szervesanyag-, ammónium-, nitrition tartalmú és oxigén hiányos „szennyvízdugók” alakulnak ki, s ezeket a „szennyvízdugókat” csak fokozott tápvíz bevezetéssel lehet leveletetni. A tápvíz, s a lebegőanyagához kötött tápelemek viszont tovább növelik a rendszer „belső terhelését” (Varga 2019). Az ilyen eseteket nevezi Somlyódy „csapda helyzetnek” (Somlyódy 2018). Ilyen csapdákra az egyre gyakoribb extrém hidrometeorológiai helyzetek - klímaváltozás - miatt egyre többször számíthatunk! S ahol a tartósan alacsony vízállás miatt hosszabb ideig nem áll rendelkezésre „frissítő víz”, ott a cianobaktériumok – kék algák – megjelenése is valószínű (ls. Mártélyi holtág), és ha ivóvíz ellátás is történik ilyen felszíni vízből, ott plusz algaeltávolítási technológia bevezetésére is szükség lehet (Alcsi holtág).

(Az előző kritikus vízminőségi helyzetekről a Környezetvédelmi Szakosztály – az Élőhelyvédelmi, a Limnológiai Szakosztállyal, és az MHT érintett területi szervezeteivel közösen, a Debreceni és Szegedi Egyetem közreműködésével – rendezett előadó üléseket és külön szekciót a XXXVII. Országos Vándorgyűlésen.)

1. táblázat. A Ráckevei Soroksári Duna vízminősége (A PMKH Környezetvédelmi Mérőközpont vizsgálati eredményei; 2018. augusztus 25. és 2018. augusztus 26.)

Table 1. Water quality of Ráckevei Soroksári Duna. (Measured by Environmental Laboratory of Pest County Government Office; 25<sup>th</sup> August 2018 and 26<sup>th</sup> August 2018)

Mintavételi hely	mintavétel idő-pontja		oldott O <sub>2</sub> [mg/l]		víz hőmérséklete [°C]		pH		fajl. elektr. vezetőképesség [μS/cm]	
	08.25.	08.26.	08.25.	08.26.	08.25.	08.26.	08.25.	08.26.	08.25.	08.26.
Budapest, Kvassay-zsilip	8:10	7:50	7,5	6,5	24,9	23,4	8,2	8,2	370	339
Molnár-sziget, rév	8:30	8:25	4,5	1,4	25,7	24,2	7,8	7,8	590	547
Molnár-sziget, rév	-	12:50	-	2,0	-	23,8	-	-	-	-
Molnár-sziget, szigetsúcs	-	12:55	-	3,6	-	23,7	-	-	-	-
Dunaharaszti, M0 híd	8:50	8:50	5,0	4,8	25,8	24,3	7,8	7,9	600	564
Dunaharaszti, vasúti híd	9:00	9:15	5,5	5,0	25,8	24,2	7,8	7,8	600	562
Szigethalom	9:30	9:40	6,3	6,5	26,0	23,9	8,0	8,0	490	464
Ráckeve, híd	10:00	10:20	6,5	6,3	26,4	24,1	8,1	8,2	390	361
Tass, zsilip	10:45	11:00	5,0	5,4	26,9	24,3	8,2	8,1	320	325

Mintavételi hely	KOl <sub>k</sub> [mg/l]		NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> [mg/l]		NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> [mg/l]		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [mg/l]		klorofill-a [μg/l]	
	08.25.	08.26.	08.25.	08.26.	08.25.	08.26.	08.25.	08.26.	08.25.	08.26.
Budapest, Kvassay-zsilip	15	23	0,06	0,12	0,038	0,054	3,3	3,3	27	10
Molnár-sziget	23	40	0,83	2,76	1,280	1,764	6,6	5,4	16	12
Dunaharaszti, M0 híd	24	37	0,68	0,92	1,070	1,290	7,8	8,1	17	22
Dunaharaszti, vasúti híd	20	33	0,57	0,72	0,970	1,008	8,1	8,0	20	20
Szigethalom	26	33	0,15	0,30	0,327	0,420	4,9	5,4	41	40
Ráckeve, híd	26	30	0,09	0,13	0,036	0,055	0,6	<0,5	66	70
Tass, zsilip	25	26	0,09	0,23	0,034	0,069	0,5	0,8	37	36

## SZÜKSÉGES A VÍZMINŐSÉG VIZSGÁLATI RENDSZER FOLYAMATOS FEJLESZTÉSE

A vizek védelmével kapcsolatos tevékenység egyik legfontosabb eleme a vizek állapotának rendszeres, mintavétellel és analitikai vizsgálatokkal történő megfigyelése (monitorozása). A monitoring eredmények alapján tervezhetők meg a megfelelő vízvédelmi intézkedések, és ellenőrizhető végrehajtásuk hatékonysága. Napjainkban ezeket a tevékenységeket az 1995. évi környezetvédelmi törvény előírásai szabályozzák. A törvény kimondja, hogy az állam feladata a környezet állapotára vonatkozó mérő- és megfigyelő (monitoring) rendszerek létrehozása és működtetése. Ennek keretében a vízvédlemért felelős miniszter (jelenleg a belügyminiszter) szakmai felelősségéhez tartozik a vízkészletek minőségi állapotának rendszeres megfigyelésére szolgáló monitoring rendszerek szakmai felügyelete. Ugyanez a törvény rendelkezik arról is, hogy a környezethasználók, engedélyesek kötelezettsége, hogy a környezetet terhelő – az élővizekbe vagy a közcsatornába vezetett- szennyezőanyag terheléseiket ellenőrizték, és erről a hatóságok részére rendszeresen adatot szolgáltatassanak. Ezeket az adatokat az Országos Környezetvédelmi Információs Rendszer (OKIR) keretében kell kezelni és gyűjteni.

A mindenkor monitoring rendszer a kor szemléletének megfelelően alakult, a hangsúly a kezdeti, inkább kémiai vizsgálatokról a biológiai monitoringra helyeződött át. Megnövekedett ezzel a mintavételi helyek száma, s a vizsgálati jellemzők köre is bővült. Csökkent viszont a mintavételi gyakoriság, s az intézményrendszer széttagoltsága miatt „elháványult” a szakmai irányítottság, lelassult az intézmények közötti adatáramlás.

A monitoring rendszerben vizsgálandó komponensek megválasztásának általánosítható logikája, hogy vizsgálandó minden olyan anyag, mely a vízre közvetlenül vagy a vízi környezeten keresztül számottevő kockázatot jelent. Az elsőbbségi és elsőbbségi veszélyes anyagokon kívül az EU egy folyamatosan bővülő „megfigyelési listán” lévő anyagokra – leggyakrabban használt gyógyszerekre, maradványaikra, antibiotikumokra, antioxidánsokra, új peszticidekre – is felhívja a figyelmet. Folyóinkon tömegesen megjelenő műanyagok okán, s ezen cikk írásakor tetőződő koronavírus járvány idején, ezek vizeinkben történő jelenlétéről, viselkedéséről is megbízható információkra lenne szükség. A „megbízható információ” magába foglalja a vizsgálati módszer kimutatási határára előírt elvárásokat: „az alkalmazandó módszer kimutatási határának legalább olyan alacsonynak kell lennie, mint az anyagra az

adott mátrixban jellemző becsült hatásmentes koncentráció”, s ugyanakkor az ilyen vizsgálati módszer ne legyen „aránytalanul költséges” sem. Ezen elvárások teljesítését a jelenlegi vízminőség vizsgálati rendszertől nem várhatjuk el.

Indokolatlanul kevés figyelem fordul a lebegő, kiülepedő anyagokra. A vízben lévő lebegőanyagok különösen fontos szerepet játszanak a szennyezőanyagok felvételében, kibocsátásában és transzportjában; a vízi környezetben meghatározó folyamatok játszódnak le az üledékhez kötött tápanyagoknak és szennyezőanyagoknak a fölötté lévő vízzel és a biotával történő kölcsönhatásakor. Az üledék felső, aktív rétege a tavak és mellékágak esetén különösen jelentős belső szennyezőforrás, az alatta lévő, történelmi rétege pedig „memóriaként” emlékezik a vízben korábban történt eseményekre. A szerves mikroszennyezők, s egyes fémek a lebegőanyagokban feldúsulnak s könnyebben kimutathatók, mint a vízben.

A monitoring rendszerben alkalmazott mérendő paraméterek jellege vagy azok hiánya, a mérések jellemzősége, az alkalmazott mérési módszerek megbízhatósága, a rendelkezésre álló műszaki, pénzügyi és szellemi források meghatározzák a rendszer bizonytalanságát. További bizonytalanságot okoz, hogy „nem ismerjük eléggé a vízi ökoszisztéma állapota és a vizeket érő terhelések közötti kapcsolatot, s így a terhelés-hatás-válasz-összefüggés rendszerben (DPSIR) problémát jelent az állapotokért felelős okok, s így a vízminőség javítása érdekében teendő intézkedések meghatározása. Alapvető követelmény a rendszer válaszában folyamatos nyomon követése, s a beavatkozások korrekciója a visszacsatolások alapján (Somlyódy 2018).

## ÖSSZEFOGLALÁS

A környezetvédelmi szemléletet mellőző iparunkból elvezetett ipari szennyvizek, az alig tisztított kommunális vizek és a folyóinkon a felvízi országokból érkező terhelések hatására felszíni vizeink minősége az 1950-s évektől folyamatosan romlott. A gyakori rendkívüli szennyezések „kényszerítették” a vízminőség szabályozási és intézményrendszer folyamatos fejlesztését. Bár a vízminőségsszabályozás és a vízminőségvédelem intézményrendszere az 1970-s évektől folyamatosan fejlődött, a minőség javulása csak a hazai és a felvízi országokban bekövetkezett társadalmi változások miatti terhelés csökkenése után következett be. A víz minőségét mérő monitoring rendszer is jelentősen megváltozott, a hangsúly kezdeti főleg kémiai jellegről – a VKI bevezetésével - az ökológiai értékelésre tevődött át. A vizek biológiai értékelésével az is világossá vált, hogy a kedvező kép inkább csak a kémiai állapotra jellemző, vizeink ökoszisztémái messze nem egészségesek. A monitoring rendszert is fejleszteni kell, az újonnan megjelenő szennyezőanyagok bővítésével, a mintavételek jellemzőségének javításával, az adatáramlás korszerűsítésével. A továbbra is eutróf vizeinkben a kedvezőtlen s egyre gyakoribb hidrometeorológia körülmények kritikus vízminőségi állapotot okoznak. A kritikus állapotok kezelése, az okok értékelése, s a javító - meg-

előző vízvédelmi intézkedések megalapozása elkerülhetetlenül teszi a fokozottabb szakirányítást, a jelenlegi széttagolt intézményrendszer fejlesztését.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerzők köszönetet mondanak a Szakosztályban aktívan dolgozó kollégáknak, s mindazon a vizeink jobb állapotáért dolgozó intézményeknek és főleg azokban dolgozó munkatársaknak, szakértőinek, akik szakmai ismereteik önzetlen közreadásával hozzájárultak a Környezetvédelmi Szakosztály eredményes működéséhez.

## IRODALOMJEGYZÉK

- Balló M. (1873). A Duna folyam vegyi viszonyairól. MTA Matematikai és Természettudományi Közlemények XI. pp. 1-29
- Bozzayné Nagy E. (1983). Csúcslaboratórium szükségessége és felszereltsége. Hidrológiai Tájékoztató. pp.37.
- Fekete E. (2009). Maros hordalékkúp állapotának és potenciális szennyezőforrásainak értékelése. MHT XXVII. Vándorgyűlés, Baja.
- Hidrológiai Közöny (1978). Megkezdte működését a Magyar Hidrológiai Társaság Környezetvédelmi Bizottsága. Hidrológiai Közöny, 58. évf. 6. szám. p. 269.
- Kerekesné Steindl Zs. (2017). Vízminőségvédelmi politika és a vizek állapota. Hidrológiai Közöny 97. évf. 2. szám. pp.68-83.
- Lakatos Gy., Veres Z., Kundrát J., Mészáros I. (2014). The management and development of constructed wetland for treatment of petrochemical waste waters in Hungary: 35 years of experience. Ecohydrology & Hydrobiology 14. pp. 83-88
- Lesenyi J. (1954). A Soroksári Dunaág vízminőségének vizsgálata- Vízügyi Közlemények, 36. évf. pp. 219-229
- Somlyódy L. (2018). Vízminőségi modellek és csapdák. Hidrológiai Közöny 98. évf. 3. szám. pp. 4-14.
- Somlyódy L. (2018). Felszíni vizek minősége. Modellezés és szabályozás. Typotex Elektronikus Kiadó. Budapest. ISBN 978 963 279 983 4.
- Tóth A., Haáz E., Nagy T., André A., Tarjáni A., Fózer D., Koczka K., Valentinyi N., Manczinger J., Rátz L., Tölgyesi L., Réti L., Mizsey P. (2016). Körforgásos gazdaság vegyiparba építésének példája: Újszerű, gazdaságos eljárás és berendezés technológiai hulladékvizek újrahasznosítására. Ipari Ökológia, 14. pp. 23-30.
- Varga P., Kisgyörgy S. (1994). Development of a surface water quality assessment system in Hungary. Water Science & Technology, Vol.30. No.5, pp. 97-110.
- Varga P. (2019). Vízminőségi csapdahelyzetek a Ráckevei- Soroksári Dunán. MHT XXXVII. Vándorgyűlés, Pécs.
- Zsuga K., Tóth F., Kerepeczki É., Berzi –Nagy L. (2018). Ceriodaphnia rigaudi (Richard 1894) – Új Cladocera faj megjelenése a hazai faunában. Hidrológiai Közöny, 98. évf. Különszám. pp. 102-105.



## A SZERZŐK



**VARGA PÁL** okleveles vegyészmérnök (1967), mérnök-biológus szakmérnök, (1973), egyetemi doktor (1977). Szakmai pályafutását vízanalitikusként kezdte a Közép-Duna-völgyi Vízügyi Igazgatóságon (Környezetvédelmi Felügyelőségen), majd laboratóriumi vezető, vízvédelmi osztályvezető beosztásban folytatta (1967-1990) és szakértői főosztályvezetőként fejezte be az Országos Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Főfelügyelőségen (1991-2010). Fő munkaterülete a vízminőség védelem, mely kiterjed a „befogadóktól a szennyvízekig, vízellátástól a szennyvíztisztításig, szennyezőforrásoktól a vízgyűjtőkhöz, vízszenyezések hatásvizsgálatától az auditálásig, vízhasznosításától a vízikörnyezet védelméig”. További szakterületei: hulladékgazdálkodás, körkörös gazdaság, üvegházhatású gázok, szennyezett területek rehabilitációja, környezetvédelmi mérések minőségbiztosítása, környezetvédelmi szabályozás és ezek végrehajtása. A víz és levegő védelem, hulladékgazdálkodás meghívott előadója a Budapesti Műszaki Egyetemen. A Magyar Hidrológiai Társaságnak (MHT) 1967 óta tagja, a Környezetvédelmi szakosztály elnöke. Az MHT Pro Aqua (2014) és dr. Schafarzik Ferenc-emlékéremmel (2019) ismerte el több évtizedes eredményes társasági munkáját.



**DR. KEREKESNÉ STEINDL ZSUZSANNA** vegyészmérnök, környezetvédelmi szakmérnök. Közel 40 éves vízminőség-védelmi, vízanalitikai szakmai tapasztalattal rendelkezik. A Budapesti Műszaki Egyetemen végzett tanulmányai befejezése után a budapesti vízügyi igazgatóságnál kezdett dolgozni, majd a későbbi átszervezések után a környezetvédelmi felügyelőségi mérőhálózati tevékenységben vett részt, mint a környezetanalitikai labor vezetője. 1998-tól kezdve a vízminőség-védelemmel kapcsolatos minisztériumi szervezetrendszerben látott el irányítási, szakmai koordinációs feladatokat. 2016 szeptemberében a Belügyminisztérium Vízügyi-gazdálkodási és Vízvédelmi Főosztályának helyettes főosztályvezetőjeként vonult nyugdíjba. Jelenleg szakmai ismereteinek hasznosításával a Global Water Partnership Magyarország Alapítvány szakmai munkáját támogatja, önkéntes alapon. A Magyar Hidrológiai Társaság tagja.



*Rucaörömmel (Salvinia natans) borított Tisza holtág Mártélynál (Fotó: MHT Környezetvédelmi Szakosztály)*

## A Körösök 1980. évi rendkívüli árvize – töltésszakadások, szükségtározások

Szlávik Lajos

Professor Emeritus, egyetemi magántanár, a Magyar Hidrológiai Társaság elnöke

### Kivonat

1980. július-augusztusában az utóbbi évszázad legnagyobb árvíz-katasztrófája szakadt a Körösök völgyére. A tanulmány a négy évtizede történt rendkívüli helyzet kialakulásának és lefolyásának eseményeit, valamint következményeit foglalja össze. 1980. július 22-23-án jelentős mennyiségű, nagy intenzitású eső hullott a Körösök hegyvidéki vízgyűjtő területére. Gyors áradás indult el a folyókon, különösen a Fekete-Körösön. A rendkívüli hevesességű árhullámok levonulása nem volt zavartalan. 3 és fél nap alatt három töltésszakadás következett be: román területen, a Fekete-Körös bal parti mellékvizén, a Tőzön; a Berettyó és a Sebes-Körös összefolyásánál, Halaspusztánál; és a Kettős-Körösön, a folyó jobb parti töltésén, Hosszúfoknál. Ez utóbbi következtében 183 óra alatt 200 Mm<sup>3</sup> víz folyt ki a területre, 105 km<sup>2</sup>-t elöntve. A hosszúfoki töltésszakadás tehermentesítésére megnyitották a mérgesi és a mályvádi árvízi szükségtározókat. A Körösök árvizeinek és árvízvédelmének történetében kiemelkedő helyet foglal el az 1980. évi árvíz. A két hazai töltésszakadás jelentős tanulságokkal szolgált az árvízvédelmi fejlesztések szempontjából. Az 1980. (és a továbbiakban, az 1981.) évi Körös-völgyi árvizek nagyot lendítettek a szükségtározás módszerének üzemszerű alkalmazásán. A védekezési módszerek eszköztárában tulajdonképpen ekkor nyert polgárjogot az árvíz oldaltározóba történő szabályozott kivezetése és visszatartása. Ez pedig messzire kihatott – tulajdonképpen a több mint 20 évvel később induló Vásárhelyi-terv Továbbfejlesztése (VTT) elnevezésű tiszai fejlesztési programig vezetett.

### Kulcsszavak

Árvíz, Körösök, töltésszakadás, kitelepítés, lokalizálás, szükségtározás, ideiglenes elzárás, vízvisszavezetés, helyreállítás, lefolyt víztömeg, árhullámkép-rekonstrukció.

## The extraordinary flood of the Körös Rivers in 1980 – dyke breaches, emergency storages

### Abstract

In July-August 1980, the greatest flood catastrophe of the last century broke out in the Körös Valley. This paper summarizes the events and consequences of the emergence and course of the emergency that happened in the last four decades. On 22-23 July 1980 a significant amount of high-intensity rain fell on the mountain part of the Körös Basin. Rapid flooding began on the rivers, especially in the Fekete-Körös. The retreat of extreme intensity floods was not undisturbed. In 3 and a half days, three dyke breaches occurred: in the Romanian territory: on the left bank tributary of the Fekete-Körös; on the Tőz River; at the confluence of the Berettyó and Sebes-Körös Rivers, at Halaspuszta; and in Kettős-Körös River, on the right bank of the river, at Hosszúfok. As a result of the latter, 200 Mm<sup>3</sup> of water flowed into the area in 183 hours, flooding 105 km<sup>2</sup>. Flood emergency reservoirs in Mérge and Mályvád were opened to relieve the long-distance dyke breach. The 1980 flood occupies a prominent place in the history of floods and flood protection of the Körös Rivers. The two Hungarian dyke breaches provided significant lessons for flood defense developments. The floods in the Körös Valley in 1980 (and hereafter, 1981) provided a major impetus for the operational application of the emergency storage method. In fact, it was at this time when the controlled discharge and retention of floods into the side reservoir has been naturalized in the practice of flood protection. The impact of this had a far-reaching effect - in fact, it led to the Tisza development program called the Further Development of the Vásárhelyi Plan (VTT), which started more than 20 years later.

### Keywords

Flood, Körös Rivers, dyke breach, evacuation, localization, emergency storage, temporary closure, water drainage, restoration, runoff, flood wave reconstruction.

### BEVEZETÉS

1966-1980 között a Körösökön négy esetben is olyan árvízi események alakultak ki, amelyeknél az árhullám tetőző szintjei, vízhozamai, az áradás hevesége és más hidrológiai paraméterek újra meg újra meghaladták az addig észlelt maximális értékeket.

A Fehér-Körös 1966 februárjában a romániai, jobb parti töltés szakadása nyomán elöntötte a Fehér- és Fekete-Körös között (Ambrus 1967); a Berettyón levonuló jeges árvíz töltésszakadást okozott (Papp 1966). Az 1970. júniusi árvíz román területén a Fehér- és a Fekete-Körösön is töltésszakadást okozott, (Diaconu és társai 1970, Takács 1971); a Sebes-Körös foki hídi térségében fenyegető töltésszakadást a Kutas szükségtározó feltöltésével előzték meg (Papp 1971). 1974 júniusában a Fehér és a Fekete-Körös minden eddigig meghaladó tetőzési magasságú árhulláma

ellen csak az jelentett védelmet, hogy a két folyó között 71 km<sup>2</sup> területen 118 Mm<sup>3</sup> vízzel feltöltötték (Szlávik 1976).

Ezeknek az árvizeknek a tapasztalatai alapján kezdődött meg – elsőként a Fehér- és Kettős-Körös bal partján – a Körösök árvízvédelmi műveinek rekonstrukciója az újonnan megállapított mértékadó árvízszintekre.

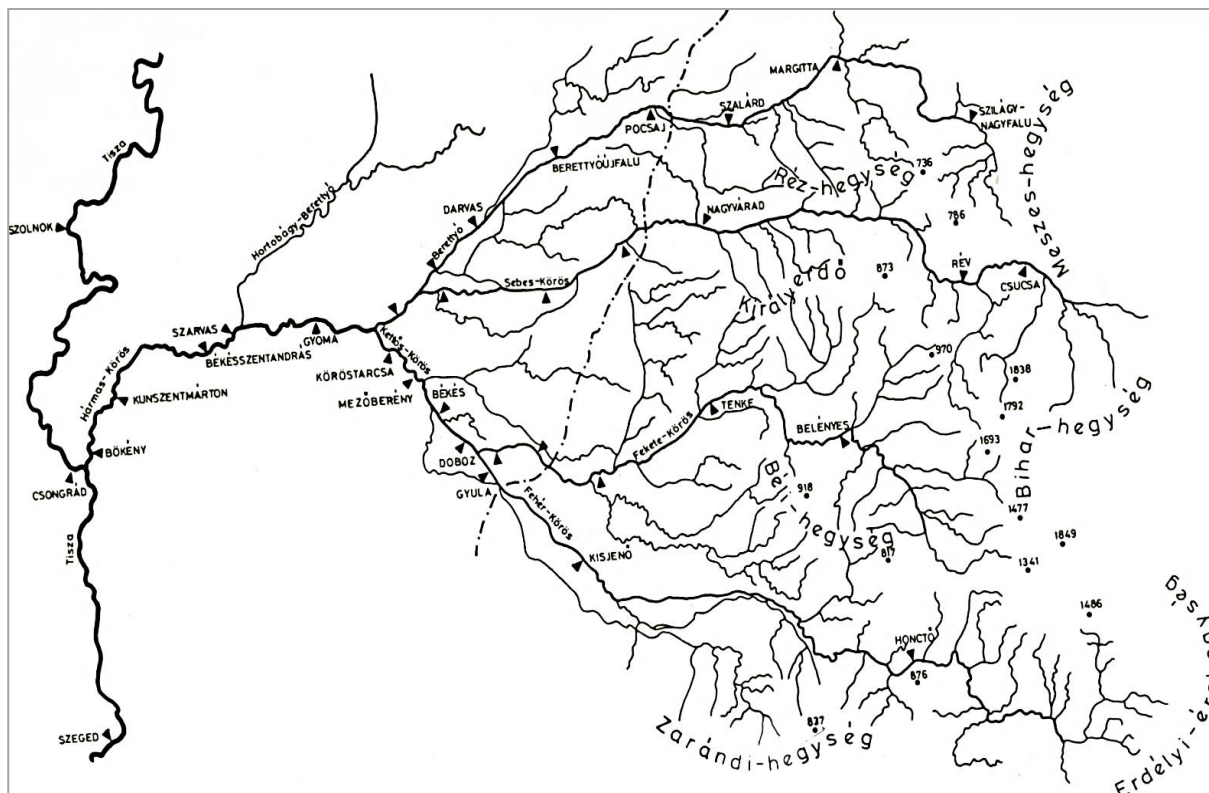
Ilyen előzmények után 1980. július-augusztusában az utóbbi évszázad legnagyobb árvíz-katasztrófája szakadt a Körösök völgyére.

### A KÖRÖS-VÖLGY TERMÉSZETFÖLDRAJZI SAJÁTOSSÁGAI

A 27 537 km<sup>2</sup> vízgyűjtő területű Hármaskörös a Maros után a Tisza második legnagyobb vízgyűjtővel rendelkező mellékfolyója, amely terület a tiszai Alföld jelentős részére kiterjed. Ez a Kárpát-medence egyik legérdekesebb víz-

rendszere, amelyet, az Alföldet és az Erdélyi-medencét elválasztó Bihar-hegységben eredő, nyugati irányba haladó négy folyó (délről északra: Fehér-, Fekete-, Sebes-Körös és Berettyó) alkot. A Hortobágy-Berettyóval kiegészülve

a vízhálózat legyezőszerű vízgyűjtőn terül el (1. ábra). A vízgyűjtő terület 53%-a (a teljes hegy- és dombvidék és a domblábi síkság) Románia, 47%-a pedig hazánk területén található.



1. ábra. A Körösök vízgyűjtő területének térképvázlata (Szlávik 1982a)  
Figure 1. Outline map of the Körös Rivers' catchment area (Szlávik 1982a)

A Körösök vízrendszerében a főfolyók – a Fehér-, Fekete-, Sebes-Körös (Berettyó nélkül), Berettyó és Hortobágy-Berettyó – hosszát és vízgyűjtő területének nagyságát tekintve nincsenek lényeges különbségek (1. táblázat), annál eltérőbbek viszont a csapadéviszonyok: a domborzati hatásokon túlmenően lényeges szerepet játszik a vízgyűjtő fekvése és távolsága is. Ebből eredően a Körösök

vízjárása igen szeszélyes és változatos, a légköri helyzet függvényében az egyes mellékfolyókön külön-külön és együttesen is jelentkezhetnek nagyobb árvizek (így pl. 1970-ben valamennyi mellékfolyón, 1974-ben főként a Fehér- és Fekete-Körösön, 1980-ban elsősorban a Fekete- és Sebes-Körösön alakultak ki az addigi maximumokat elérő vagy meghaladó árhullámok).

1. táblázat. A Körösök vízrendszerét alkotó fő folyók hossza és vízgyűjtő területe  
Table 1. The length and catchment area of the main rivers that make up the Körös water system

Folyó	Vízgyűjtő terület, km <sup>2</sup>			A folyó hossza a forrástól* (az összefolyástól)**, km		
	Románia területén	Magyar. területén	összesen	Románia területén	Magyar. területén	összesen
Fehér-Körös	3 977	298	4 275	227	9	236*
Fekete-Körös	4 494	151	4 645	148	20	168*
Kettős-Körös	8 642	1 744	10 386	---	37	37**
Sebes-Körös	5 963	3 340	9 303	150	59	209*
Berettyó	3 446	2 649	6 095	126	78	204*
Hortobágy-Berettyó	---	5 776	5 776	---	163	163*
Hármas-Körös	14 605	12 932	27 537	---	91	91**

A hegyvidéki vízgyűjtő legfelső részein az évi átlagos csapadékmennyiség az 1 000-1 200 mm-t is eléri, míg az alföldi területeken 550-600 mm alatt marad. A csapadék térségi eloszlása mellett az időbeli egyenlőtlenségek is szembevetőnek – két-három hét alatt az éves mennyiség negyede-harmada is lehullhat. A hó alakjában felhalmozódó csapadék mennyisége a hegyvidéken

sem haladja meg az éves érték 15-20%-át. A Körösök vízjárása igen összetett, az éghajlati tényezőkön kívül fontos szerepet játszik ebben a domborzat, a talaj, a növénytakaró, a vízhálózat, a befogadók visszaduasztó hatása stb. A vízmércéken észlelt vízállások a vízjárás szélsőségeségét jelzik (2. táblázat) (Goda 1965, Szlávik 1982b).



2. táblázat. A Körösök magyarországi vízmércéinek néhány fontosabb adata  
Table 2. Some important data of the Körös Rivers' gauges in Hungary

Vízfolyás	Vízmérce		„0”pont (m Af.)	F (km <sup>2</sup> )	Észlelés kezdete (év)	III. fok (cm)	Jégmentes LNV 1980-ig		NV, LNV* 1980 (cm)
	megnevezése	(fkm)					(cm)	(év)	
Fehér-Körös	Gyula	135,52	85,30	4 251	1873	600	<b>786</b>	1974	710
Fekete-Körös	Ant	20,26	86,13	4 300	1962	700	<b>944</b>	1974	<b>988*</b>
	Sarkad	15,25	85,23	4 302	1930	---	<b>920</b>	1974	<b>924*</b>
	Remete	4,41	83,76	4 644	1873	750	<b>916</b>	1974	853
Kettős-Körös	Doboz	123,35	82,76	8 922	1887	---	<b>948</b>	1974	922
	Békés	114,00	81,80	9 011	1871	800	<b>972</b>	1974	963
	Köröstarcsa	97,67	80,72	10 384	1883	---	<b>909</b>	1970	891
Sebes-Körös	Körösszakál	54,63	92,89	2 489	1873	400	<b>520</b>	1925	434
	Fokihíd	19,13	83,39	2 853	1873	---	<b>700</b>	1970	679
	Körösladány	9,55	81,59	8 985	1884	600	<b>815</b>	1970	798
Berettyó	Pocsaj	71,20	95,32	3 502	1950	500	<b>542</b>	1974	523
	Berettyóújfalú	45,00	90,05	3 712	1958	450	<b>512</b>	1919	502
	Darvas	22,10	85,52	5008	1953	---	---	---	<b>591*</b>
	Szeghalom	6,60	83,27	5 812	1873	500	<b>678</b>	1970	666
Hármas-Körös	Gyoma	79,88	79,34	19 715	1873	750	<b>918</b>	1970	881
	Szarvas	53,84	77,94	25 958	1935	850	<b>954</b>	1970	878
	Kunszentmárton	19,76	76,81	27 354	1859	---	<b>947</b>	1970	800

## A KÖRÖSÖK ÁRVÍZVÉDELMI MŰVEINEK KIÉPÍTÉSE

Már az 1790-es évek vége felé végeztek bizonyos szabályozási munkákat, melyeket egyes birtokosok, de főleg a vármegyék kezdeményeztek. E kezdetleges munkák nyomai fellelhetők a Sebes-Körös Sárrétjén, ahol az 1790-es években végeztek csatornázási munkákat. Ezek a létesítmények azonban – mivel csak helyi jelentőségűek voltak – a Körösök vízjárását nem befolyásolták. Ebben az időben sok vízimalom és malomgát volt a Körösökön, s a közvélemény főleg ezeket okolta a gyakori áradásokért, s eltávolításukat követelte.

1808-ban királyi biztost küldtek a Körösök vidékére, elsősorban azzal a megbízással, hogy a lefolyási akadályokat számolja fel. Néhány vízimalmot eltávolítottak, néhány mederátmetaszt is készítettek, de az általános helyzeten ez sem változtatott.

1815-ben az ország vízügyeinek rendezését egy főigazgatóra és öt vízépítési felügyelőre bízta. Ekkor kapta a megbízást *Huszár Mátyás* mérnök a Körösök átfogó rendezését célzó javaslat összeállítására. Ez az 1820-ból származó elgondolásokat tartalmazta. A terv legfontosabb célkitűzése az árvízszint leszállítása volt, melyet nem az esés növelésével, hanem a fenék mélyítésével kívánt elérni. Néhány átmetszést is javasolt a töltéshez mellett, de csak azért, hogy a töltések hosszát némileg rövidítse.

Ebben az időben működött a Körösök vidékén *Beszédes József*, a kor egyik leghíresebb mérnöke, aki megépítette a Fehér-Körössel párhuzamosan, attól D-re a dombok lábánál a malomcsatornát, ahová a Fehér-Körös valamenyny vízimalmát áttelepítették. Ugyanakkor a Fehér-Körösön több átmetszést is tervezett, s kiépítette a Fehér-Körös Arad megyére eső szakaszának töltéseit. Ez viszont igen kedvezőtlen helyzetet teremtett Gyula és környéke, s általában az alsóbb területek számára, mivel az ár hullámok

sokkal korábban, s nagyobb hevességgel érkeztek, mint azt megelőzően.

1847-ben *Bodoky Károlyt* bízta meg a Körösök szabályozásának irányításával. Elkészítette a Körösök új szabályozási tervét, melynél *Huszár* és *Beszédes* elgondolásait vette alapul. *Bodoky* hangoztatta először, hogy a folyókat nemcsak töltésszel, hanem szabályozni is kell. Tervét 1855-ben hagyták jóvá, kivitelezését azonban még meg sem kezdték, amikor a felső szakaszán már szabályozott Fehér-Körösről lezúduló 1855. évi árvíz Gyulát csaknem teljesen romba döntötte. Ezért a már jóváhagyott tervet megváltoztatták, a folyókat elterelték a lakott helyektől és megépítették az ún. Gyula-Békés közötti nagycsatornát (a Fehér- és Kettős-Körös mai medrét Gyulától Békésig), a Fehér- és a Fekete-Körös összefolyását pedig mai helyén, Szanazugnál alakították ki.

1869-ben életre hívták a Gyulai Folyammérnöki Hivatalt. A Hivatal új szabályozási terveket készített, újból meghatározták a nagyvízhozamokat, a töltések egymástól való távolságát és azok méreteit. A hullámtér szélességét a Hármas-Körösnél 600 m-ben, a Kettős-Körösnél 300 m-ben, a többi folyónál pedig 100-120 m-ben szabták meg. A töltéseket 4–5 m széles koronával, 1:2 rézsúhajlással és mentett oldali padkával írták elő. Külföldi szakértőket is hívtak a szabályozási tervek felülbírlására, akik a terv alap gondolatait jónak találták, csak a Fehér- és Fekete-Körös szűk hullámtérét kifogásolták, s mint ez napjainkban is rendre beigazolódik – jogosan.

A Körösök nagyvízi szabályozásának történetében az 1894. esztendő fordulópontot jelentett. Ez volt az első év, amikor az addig ismerteknél is nagyobb ár hullám gátszakai nélkül vonult le. Az 1894. évi nagy víz mutatta meg először a végrehajtott munkálatok eredményességét. A kiűzött célt – az árvizek gyors és kártétel nélküli levezetését – tehát elérték. Már az 1881. és 1888. évi töltésfejlesztéseknél is számoltak az árvízszintek emelkedésével. Előír-

ták, hogy a gátak koronáját az 1881. évi vízszint fölé 1,5 m-re kell építeni. Csak így történhetett, hogy 1894-ben már nem volt gátszakadás (Fejér 2001, Gallacz 1896, Korbély 1917, Ihrig 1973, P. Károlyi 1968).

A következő évszázadban – egy-egy újabban kialakult LNV-t követően (1894, 1919) – újabb mértékadó árvízszinteket és töltésméreteket állapítottak meg, majd ezeket az értékeket 1965-ben – a bővebb adatanyag és a korszerűbb hidrológiai módszerek birtokában – ismét meghatározták, végül pedig 1976-ban az addigi legteljesebb módon újraértékeltek (VITUKI 1976). Ekkor mértékadó árvízszintnek az 1%-os előfordulási valószínűségű éves jégmentes nagyvízszintet minősítették, amely fölött 1,2 m-es szintre (a Fehér- és a Fekete-Körösön, valamint a Kettős-Körösön a dobozi hídig), illetve 1,0 m-es szintre (a Kettős-Körös többi szakaszán, a Berettyón, a Sebes- és a Hármaskörösön) kellett az árvízvédelmi töltéseket kiépíteni.

1855-ben indultak meg nagy erővel az ármentesítési munkák, de a száraz 1860-as években a lendület alábbhagyott. Ezen időszakban mintegy 8 millió m<sup>3</sup> földmunka készült el. Az 1871-78-as évek között már csak 1 millió m<sup>3</sup> volt az elvégzett munka. Az 1879. évi szegedi árvíz katasztrófának kellett bekövetkeznie ahhoz, hogy az árvízi munkák szükségessége ismét előtérbe kerüljön. 1879-94 között már több mint 10 millió m<sup>3</sup> volt a beépített földtömeg. Az 1894-ig megvalósított közel 20 millió m<sup>3</sup>-nyi árvízvédelmi töltéstömeg a mai körösi védmű-rendszer alapja. Az 1894., 1919., 1970. és 1974. évi árvízi események voltak azok, amelyek után a töltések tömegét az utóbbi 80 év alatt több mint háromszorosára emelték fel (Ihrig 1973).

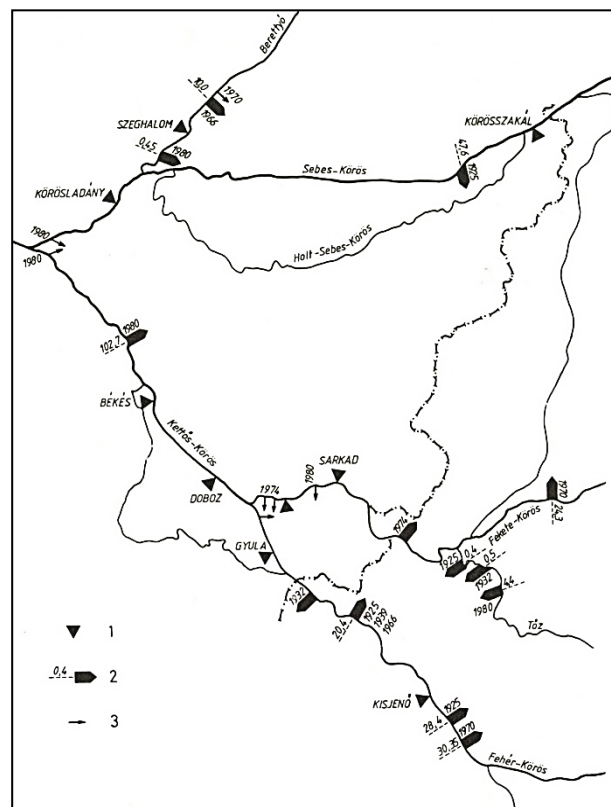
Az árvízvédelmi töltések szakaszos kiépítése ugyanakkor inhomogén töltésszelvényeket eredményezett. Ez, és a korábbi töltésepítések egyes fogyatékságai (talajminőség, altalajproblémák, alapozási hiányosságok stb.) a további árvédelmi munkák meghatározó tényezői lettek.

1980-ra a Körösök árvízvédelmi töltéseinek csak mintegy 30%-a volt kiépítve az 1976-ban előírt méretre. A határon túli esetleges gátszakadásokból eredő, a terepen lezúduló árvízi kiöntések felfogására lokalizáló töltések szolgálnak, amelyeket az 1966. és 1970. évi árvizeket követően építettek ki a jelenlegi helyen és méretre: a Fehér-Körös bal partján (10,3 km), a Fehér- és Fekete-Körös között (9,8 km), a Fekete- és Sebes-Körös között (49,6 km).

A Körös-völgy árvízi biztonságának fokozására 1974-1980. között árvízi szükségtározók épültek. A Mérgesi árvízi szükségtározó a Kettős-Körös jobb parti és a Sebes-Körös bal parti töltésének találkozásánál lévő 1823 ha kiterjedésű terület, ahol 87,2 Mm<sup>3</sup> víz tárolható. A Mályvádi árvízi szükségtározó 3310 ha területű, 75,0 Mm<sup>3</sup> térfogatú, a Fekete-Körös bal parti töltése mentén épült ki. A Kutas árvízi szükségtározó a Berettyó bal partján 2900 ha területen létesült, térfogata 36,6 Mm<sup>3</sup>. A tározók területén mező- és erdőgazdasági művelés folyik. A tározók igénybevétele akkor kerülhet sor, ha a védekezés más módon már nem biztosítható, a töltésszakadás közvetlen veszélye fenyeget, illetve, ha az árhullám tetőzését az előrejelzettnél alacsonyabb szinten kell biztosítani. A szükségtározók az

árvízvédelmi rendszer kiegészítő létesítményei és védelmi tartalékul szolgálnak (Szlávik 1978, 1980).

A Körös-vízrendszer árvízvédelmi töltésein 1925-1980 között 22 töltésszakadás, ill. árvízi szükségtározás miatti töltésátvágás történt a hazai töltéseken, valamint a magyar területek árvízi biztonságát érintő romániai töltéseken (2. ábra). A Körösök hazai árvízvédelmi rendszerében 55 év alatt négy töltésszakadás történt és hét esetben vágták, robbantották át a töltéseket árapasztó szükségtározás céljából. Román területen, a Tőzön, a Fekete- és a Fehér-Körösön ugyanezen idő alatt 11 olyan töltésszakadás történt, amelyek részben előntöttek magyar területeket, vagy a kiömlött vizet részben a határmenti zárógátak fogták fel.



2. ábra. Töltésszakadások és szükségtározó-megnyitások a Körösökön 1925-1980. között (Szlávik 1982a)

(Jelmagyarázat: 1 = vízmérce; 2 = töltésszakadás helye és szelvény-száma a torkollattól, ill. az országhatártól; 3 = szükségtározó feltöltése)

Figure 2. Dyke breaches and emergency storage openings in the Körös Rivers between 1925-1980 (Szlávik 1982a)

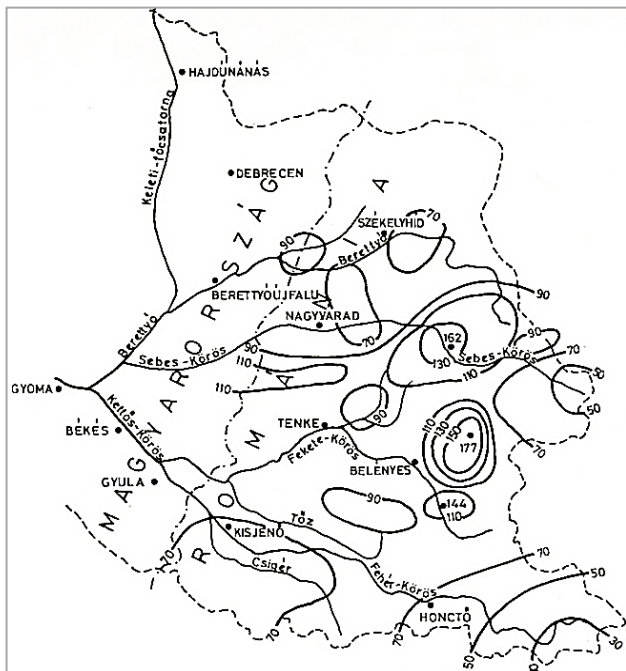
(Legend: 1 = gauge; 2 = location of dyke breach and river km from the estuary or the country border; 3 = filling of the emergency reservoir)

Az ártéren fekvő települések védelmére, az esetleges árvízi előntések esetére, mintegy 140 évvel ezelőtt körtöltéseket létesítettek, mivel arra nem volt lehetőség, hogy a fővédvonalakat rövid idő alatt a kellő biztonságra kiépíthessék. Az 1980-at megelőző évtizedekben számos ipari, mezőgazdasági létesítmény, közintézmény, új lakótelep került a körtöltéseken kívülre, így azok funkciójukat teljes mértékben már nem tudták ellátni, fenntartásuk azonban – részleges lokalizációs szerepük miatt – továbbra is célszerűnek bizonyult, s ez az 1980. évi kettős-körösi töltésszakadás során (Tarhos és Doboz védelménél) be is igazolódott (Szlávik 1982b).

## A KÖRÖSÖK 1980. ÉVI ÁRVIZÉT KIVÁLTÓ CSAPADÉK

A Körösök hegyvidéki vízgyűjtőterületén 1980 első felében a csapadék mennyisége 414 mm volt, megközelítette a sokéves átlagértéket, nagyobb része májusban (123 mm) és júniusban (113 mm) hullott. Júliusban egész Európa fölött kiterjedt ciklontevékenység alakult ki, amelynek hatására a Tisza egész vízgyűjtőjét intenzív és jelentős mennyiséget adó csapadék érintette (Homokiné és társai 1981). A Körösök vízgyűjtőterületén július első két dekájában 20–30 mm csapadék volt, amelyet július 21–27. között a Fehér-Körös vízgyűjtőjén átlagosan 119 mm, a Fekete-Körösén 163 mm, a Sebes-Körösén 181 mm és a Berettyóén 115 mm eső követett.

Különösen heves volt az esőzés a Fekete- és a Sebes-Körös vízgyűjtőterületén, ahol július 22-én 24 óra alatt területi átlagban 76, ill. 71 mm, július 22–23-án, 48 óra alatt 105 és 99 mm csapadék hullott (3. ábra), az árvizet kiváltó 4 legcsapadékosabb napon összesen lehullott eső pedig területi átlagban 150, ill. 153 mm volt. (Összehasonlításképpen: 1970-ben 4 nap alatt 50–90 mm, 1974-ben ugyancsak 4 nap alatt 42–106 mm eső esett és váltotta ki az akkori nagy árhullámokat.) A legnagyobb 24 órás csapadék a Fekete- és Sebes-Körös vízválasztóján Biharfüreden 145 mm és a Fekete-Körös felső szakaszán Vasaskőfalván 113 mm volt, mindkettő eddig észlelt maximum. Ezen a két állomáson a 48 órás összeg (július 22–23.) 162 és 177 mm, a 12 napos csapadékösszeg pedig 324 és 332 mm volt. Ezek az állomásokon a 12 nap alatt lehullott eső az éves csapadéknak mintegy harmadrésze volt.



3. ábra. A Körösök hegyvidéki vízgyűjtőjének vázlatos csapadéktérképe (1980. július 22–23.) (Szlávik 1982a)

Figure 3. Schematic precipitation map of the mountainous part of the Körös basin (22–23 July 1980) (Szlávik 1982a)

Augusztus 2–12. között az idő csapadégmentes volt, az augusztus 13–15. közötti 3 napon a hegyvidéki vízgyűjtőn hullott 6,2–62,0 mm (területi átlagban 23 mm) eső pedig már nem befolyásolta lényegesen az árvízi helyzetet.

A hazai területen július harmadik dekájában területi átlagban 96 mm eső hullott; ebben az időszakban kilenc csapadékos nap volt – ez pedig lényegesen megnehezítette az árvízvédelmi munkákat.

## A VÍZÁLLÁSOK ALAKULÁSA

Az árhullám kialakulását megelőzően a Körösökön igen alacsony vízállások voltak: a Fekete-Körösön Antnál 8%-os, a Fehér-Körösön Gyulánál 10%-os, a Sebes-Körösön Körösszakálnál pedig mindössze 4%-os volt a mederteltség, a folyók apadtak. A nagy intenzitású esőzés igen heves áradásokat eredményezett. Különösen gyorsan áradt a Fekete-Körös július 23-án déltől: 25 óra alatt 828 cm-t, 36 óra alatt 916 cm-t emelkedett a vízállás, az áradás átlagos intenzitása 26 cm/óra volt, de a vízszintemelkedés legnagyobb sebessége meghaladta a 46 cm/óra értéket — ilyen heves áradás a Fekete-Körösön addig még sohasem fordult elő. Az országhatáron lévő anti vízmércén a vízállás az I. árvízvédelmi készültségi szintet (500 cm) az áradás kezdetétől számított 7 óra múlva, a II. és III. készültségi szintet (600 és 700 cm) további 3–3 óra alatt érte el. A tetőzés július 24-én éjjélkor következett be — a Tőz romániai gátszakadása miatt — 988 cm-es vízállással, amely 44 cm-rel volt magasabb az addigi (1974. évi) maximumnál (1. táblázat). A Fekete-Körös bal parti töltésén az országhatár közelében nyúlgáttal kellett védekezni az árvíz ellen. Biztonsági okokból megtörtént a felkészítés a mályvádi árvízi szükségtározó igénybevételére, de mivel az árvíz sikertelenül nyúlgáttal megtartani, a mályvádi szükségtározásra az árvíznek ebben az időszakában nem került sor (Szlávik 1982b, Takács 1980).

A folytatódó esőzés hatására a folyók felső szakaszáról újabb és újabb árhullámok indultak és ezáltal tartós árvízi helyzetet teremtettek. Ebből kifolyólag – bár az áradó ág csak rövid időtartamú volt – az elnyújtott apadó ág miatt az árhullám tartós terhelést jelentett az árvízvédelmi művek: töltésátázások, fakadóvizek jelentkeztek.

Az árhullám tetőzésének levonulási ideje Belényes és Ant között (94 km) a korábbi évek árhullámaihoz hasonlóan 40 óra, Tenke és Ant között (47 km) pedig 20 óra volt.

Az üres mederre érkező árhullám rendkívüli, eddig soha nem észlelt eséssel zúdult le, de a Fekete-Körös alsó szakaszán ellapult és Anttól 16 km-re, Remeténél 863 cm-es tetőzése már 53 cm-rel elmaradt az 1974. évi LNV-től. Ebben természetesen közrejátszott az is, hogy a Fehér-Körös árhulláma nem volt olyan jelentős, mint a Fekete-Körösé és a torkolati szakaszon a Fekete-Körös duzzasztotta vissza a Fehér-Köröst, nem pedig megfordítva, mint ez általában előfordul. A Fehér-Körösön a mederteltség a tető-

zéskor (76 cm-rel az LNV alatt) csak 90%-os volt. A Kettős-Körösön Békésnél a tetőző vízállás július 27-én alakult ki és 9 cm-rel elmaradt az 1974. évi LNV-től.

Hevesen áradt a Sebes-Körös (Körösszakálnál 18 óra alatt 432 cm-t) és a Berettyó is, amelyek tetőzése az alsó szakaszon megközelítette az eddigi legnagyobb, 1970. évi vízállásokat. A Hármaskörösön Gyománál a tetőzés csak 37 cm-rel maradt el az 1970. évi LNV-től.

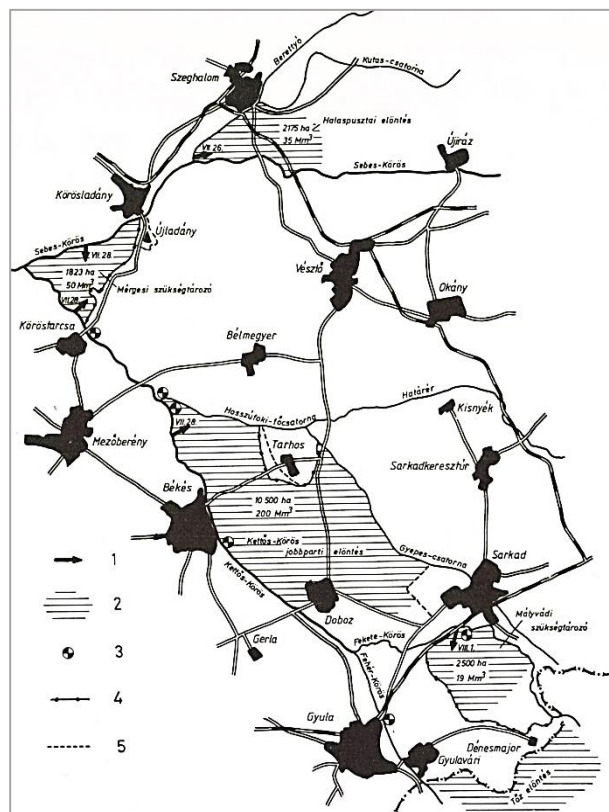
Az árhullámok adott vízszint feletti tartóssága csaknem valamennyi vízmércén megközelítette az 1970. évi eddigi legnagyobb értéket, az adatsorban az eddigi második legnagyobb értékű volt.

### TÖLTÉSSZAKADÁSOK ÉS SZÜKSÉGTÁROZÁSOK

A rendkívüli hevesességű árhullámok levonulása nem volt zavartalan. Román területen a Fekete-Körös legjelentősebb bal oldali mellékvízfolyásának, az 1166 km<sup>2</sup> vízgyűjtő területű, a torkolatnál betöltésezett Tőznek a bal parti töltése július 24-én éjfél körül a torkolattól 4,4 km-re, Tőzmiske községnél áttörés következtében 120–150 m hosszon átszakadt (4. ábra). A szakadás hatására következett be a Fekete-Körös tetőzése a zerindi vízmércén és attól lefelé. Mintegy 30–35 Mm<sup>3</sup> víz ömlött itt ki és terült szét román területen, a Fehér- és a Fekete-Körös között, több, mint 30 km<sup>2</sup>-en. A víz július 27-én érte el a magyar országhatárt, ahol az 1932. évi árvíz után épült, az országhatárral párhuzamosan, annak közvetlen közelében húzódó kisméretű határtöltés felfogta, az 1966. évi árvíz után épült lokalizáló töltést a víz nem érte el (4. ábra).

A Berettyó és a Sebes-Körös összefolyásánál az árhullám áradó ágán, július 26-án délben, amikor a vízállás 10–30 cm-re volt az 1970-ben kialakult LNV-től a szeghalmi, fokihídi és körösladányi vízmércéken, a Berettyó bal parti töltés 0+450 km-es szelvényének környezetében a töltés a terhelést nem volt képes elviselni, megrokkadt és 61 m hosszon átszakadt (4. ábra).

A kiömlő víz hozama rövid időn belül 200 m<sup>3</sup>/s volt, amelynek hatására 4 óra múlva tetőzött a Sebes-Körös Fokihídnál az addigi LNV alatt 21 cm-rel, 6 óra múlva a Berettyó Szeghalomnál az LNV alatt 12 cm-rel és 6 óra múlva a Sebes-Körös Körösladányánál az LNV alatt 17 cm-rel. A töltésszakadás idején a szeghalmi szelvényben a vízhozam 163 m<sup>3</sup>/s volt, amely a töltésszakadás leszívó hatása miatti helyi esésnövekedés következtében 24 óra alatt 266 m<sup>3</sup>/s-ra nőtt meg, majd a hullámtéren tározódott víz kiürülésével fokozatosan csökkent. Hasonló jelenség volt megfigyelhető a Sebes-Körös fokihídi szelvényében is. A 21,75 km<sup>2</sup> területre – a szükségtározásra figyelembe vehető halaspusztai térségbe – 6,5 nap alatt kiömlött 35 Mm<sup>3</sup> víz mintegy negyedrésze a Berettyón, háromnegyed része pedig a Sebes-Körösön érkező lefolyásból származott. A halaspusztai szakadást ideiglenesen 6 m-es CS-1-es lemezekből és pátrialemezekből épített 110 m hosszú járszolgáttal zárták el augusztus 1-én éjjel.



4. ábra. Helyszínrajz az 1980. évi árvízi elöntésekről a Körösökön (Szlávik 1982a)

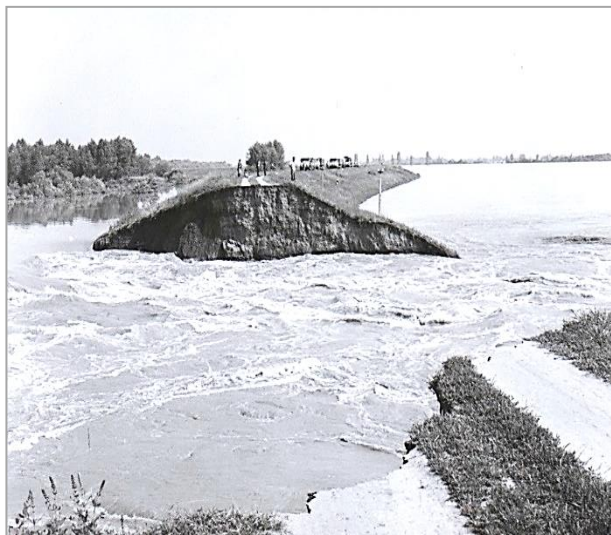
(Jelmagyarázat: 1 = töltésszakadás vagy szükségtározó-megnyitás; 2 = árvízi elöntés; 3 = szivattyútelep; 4 = védett lokalizáló vonal, körtöltés, szükségtározó töltés; 5 = az árvíz idején épített lokalizációs töltés)  
Figure 4. Site plan of the floods on the Körös Rivers in 1980 (Szlávik 1982a)

(Legend: 1 = dyke breach or opening of emergency reservoir; 2 = flood inundation; 3 = pumping station; 4 = protected localization line, ring dyke, emergency reservoir dyke; 5 = localization dyke built at the time of flood)

Július 28-án reggel 6:35-kor a Kettős-Körös jobb parti töltése Hosszúfoknál, a 102+700 tkm szelvény környezetében – a töltés tönkremenetelére utaló előzetes jelek nélkül – átszakadt (1. kép). A szakadás időpontjában az átlagosan 6,0–6,5 m magas kettős-körösi töltésen mintegy 5,0 m-es vízterhelés volt. A békési vízmércén a vízállás ekkor 921 cm volt, az apadás már 26 órája tartott, mértéke 42 cm volt.

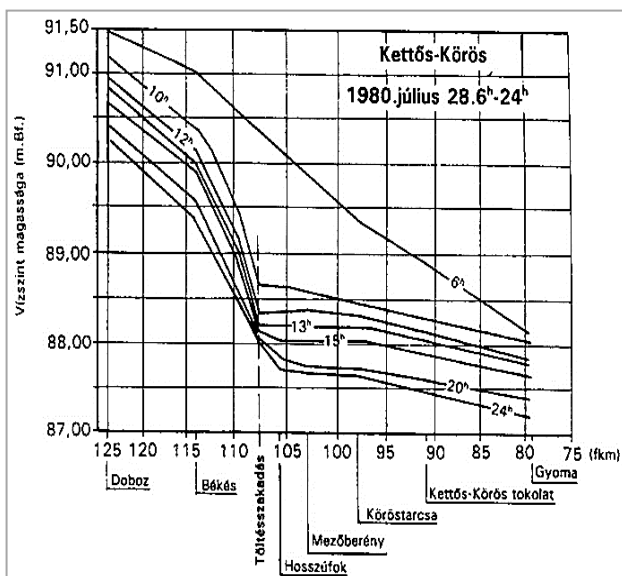
A helyszíni megfigyelések szerint a kezdeti 5 m-es nyílás gyorsan szélesedett: fél óra múlva 10 m-es, másfél óra múlva kb. 30 m-es, két óra múlva kb. 50 m-es volt és további néhány óra alatt 78 m-esre bővült (1. kép). A töltésszakadás mögött – a környező terepszinthez viszonyítva – 6,5 m mély kimosás, kopolya képződött. A terepre kitörő víz a töltésből és a kopolyából mintegy 60 ezer m<sup>3</sup> földet mosott el, a keskeny hullámtér miatt a kopolya a folyó medréig visszarágódott, a víz szabályszerű új medret képzett. A rohamos erővel bővülő töltésszakadáson az első órákban 750–800 m<sup>3</sup>/s-os vízhozam zúdult ki a területre. Olyan rendkívüli leszívó hatás érvényesült, hogy néhány órán keresztül, időszakosan, több km-es szakaszon még a Kettős-Körös folyásiránya is megfordult (5. ábra), ezt a töltésszakadás alatt, a mezőberényi hídról végzett vízsebesség mérések is igazolták.





1. kép. A Kettős-Körös jobb parti töltésszakadása néhány órával a szakadás után (1980. július 28.) (Fotó: Kiss Zoltán)  
Photo 1. The dyke of the Kettős-Körös on the right bank a few hours after the breach (28 July 1980) (Photo: Zoltán Kiss)

Az 5. ábrán nyomon követhető a töltésszakadás okozta eséstörés a Kettős-Körös vízszintjében, amely mintegy 14 óra alatt (július 28-án 20 órára) stabilizálódott, attól fogva az apadás üteme a Doboz–Gyoma közötti szakaszon végig közel azonos volt.



5. ábra. A vízfelszín esésének alakulása a Kettős-Körösön, a hosszúfoki töltésszakadás környezetében (Szlávik 1982b)  
Figure 5. The development of the water surface curve on Kettős-Körös River, in the vicinity of the long-range dyke breach (Szlávik 1982b)

A hosszúfoki töltésszakadás következtében közvetlen veszélybe került Tarhos, Doboz és a környező tanyavilág, a lokalizálás eredménytelensége esetén pedig Bélmegyer

és Újladány, valamint további számos tanya lakossága. A veszélyeztetett Tarhos, Újladány és Bélmegyer községekből és a külterületekről alig 12 óra alatt 4 086 embert és a jószágállományt kitelepítették.

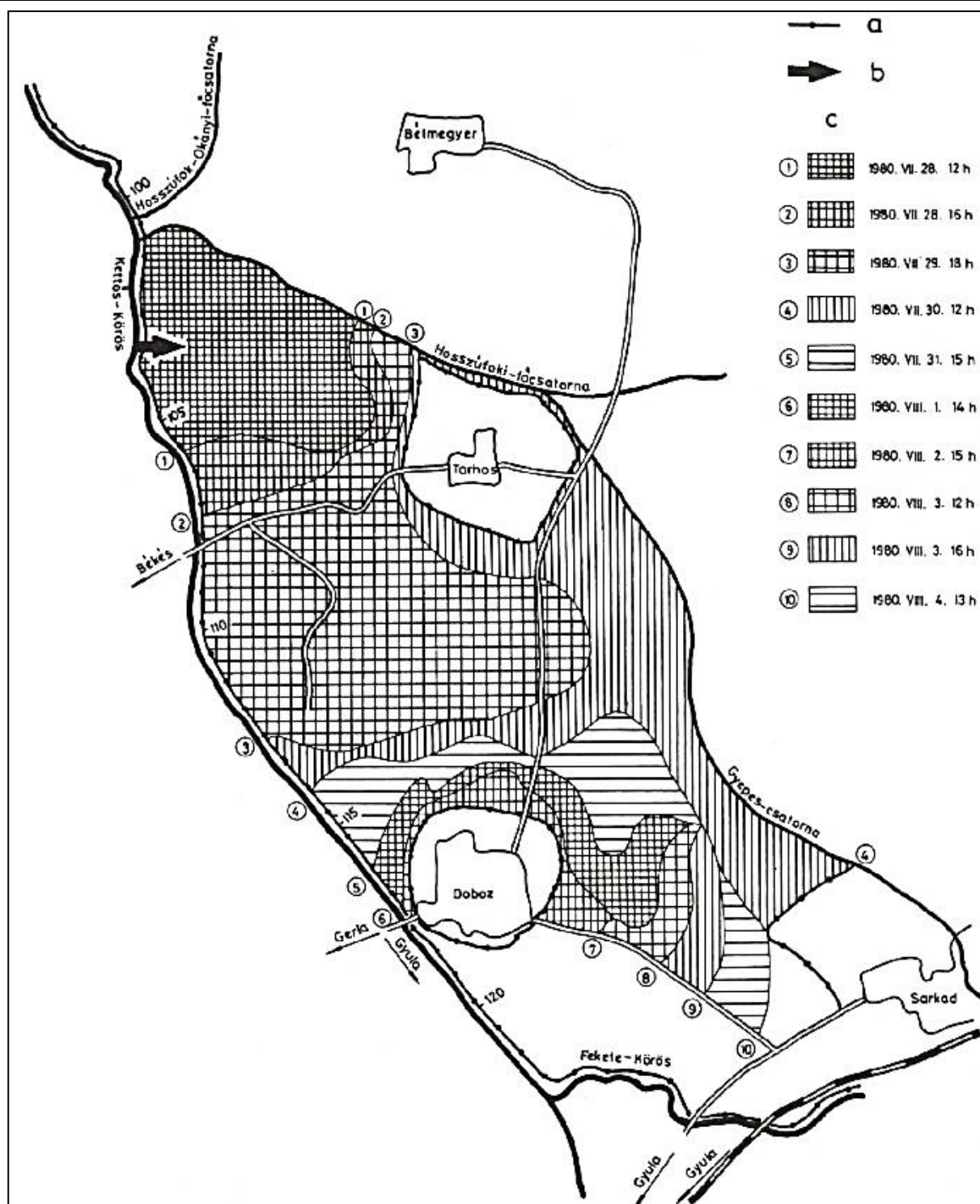
A Hosszúfoki-főcsatorna torkolatának térségében néhány óra alatt súlyos védelmi helyzet alakult ki: a víz a töltésszakadástól az ártéri öblözet legmélyebb pontja, a hosszúfoki szivattyútelepek felé tört. Átszakította a főcsatornának eredetileg lokalizáló vonalként szolgáló bal parti depóniáját, gyorsan megemelte a csatorna vízszintjét, amelynek következtében néhány óra múlva már meghágási veszély fenyegetett a jobb parti depónián egészen Tarhosig (2. kép), pedig a víz a terepen akkor még nagyjából el sem érte a Hosszúfoki-főcsatorna vonalát (6. ábra). A torkolatnál 35–40 cm-es átbukó vízben pallósoros nyúlgátat építettek (2. kép). Ezen a vonalon sikerült lokalizálni a kiömlő vizet és ezzel további kiterjedt térség elöntését megakadályozni. A lokalizáló töltés koronája és a mentett oldali földutak az átbukó víz miatt járhatatlanná váltak, így a védelmi anyagokat, megtöltött homokzsákokat csak honvédségi kétéltű járművekkel lehetett szállítani (Takács 1980).



2. kép. A kitört árvíz lokalizálása a Hosszúfoki-főcsatorna jobb parti töltésén (1980. július 28.) (Fotó: Kiss Zoltán)  
Photo 2. Localization of the erupted flood on the right bank dyke of the Hosszúfoki main canal (28 July 1980) (Photo: Zoltán Kiss)

A víz a terepen gyorsan terjedt. Néhány óra alatt elöntötte a hosszúfoki szivattyútelepeket és a szakadástól eltelt 10 óra múlva elérte és meghágta a Békés–Tarhos közötti műutat, elöntötte a Békési Gépgyárat, másfél nap múlva körülvette Tarhos község körtöltését. A 6. ábra szemléletesen mutatja, hogy a lokalizáló vonalak, körtöltések, utak hogyan terelték a terepen szétfolyó vizet.



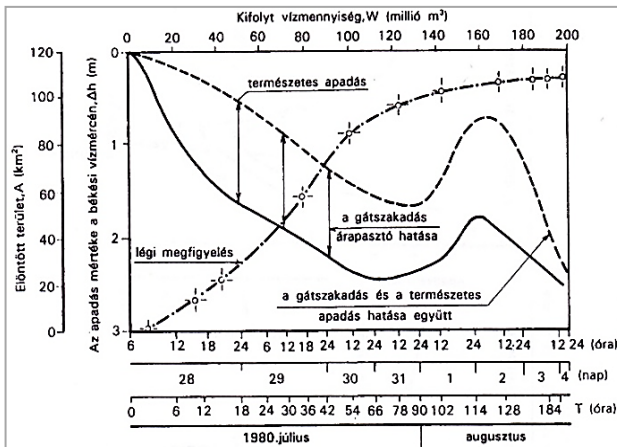


6. ábra. Helyszínrajzi vázlat a Kettős-Körös jobb parti előöntött területének feltöltődéséről (Szlávik 1982a)  
(Jelmagyarázat: a = árvédelmi töltés, körtöltés, lokalizálás; b = gátszakadás (1980. július 28. 6:30–7:00 óra); c = az elöntés peremvonala a légi megfigyelések alapján. A gátszakadástól eltelt idő: 1. = 6 óra, 2. = 9 óra, 3. = 35 óra, 4. = 53 óra, 5. = 80 óra, 6. = 103 óra, 7. = 128 óra, 8. = 149 óra, 9. = 153 óra, 10. = 174 óra. A gátszakadás ideiglenesen elzárva: 1980. augusztus 4. 22:20 (183 órával a szakadás után))

Figure 6. Layout sketch of the floodplain of the right bank of the Kettős-Körös River (Szlávik 1982a)  
(Legend: a = flood dyke, ring dyke, localization; b = dyke breach (28 July 1980 6:30 to 7:00 a.m.); c = flood edge line based on aerial observations. Time since dyke breach: 1. = 6 hours, 2. = 9 hours, 3. = 35 hours, 4. = 53 hours, 5. = 80 hours, 6. = 103 hours, 7. = 128 hours, 8. = 149 hours, 9. = 153 hours, 10. = 174 hours. The dyke breach is temporarily closed: 4 August 1980. 22:20 (183 hours after the rupture))

A 7. ábrán a töltésszakadáson kifolyt vízmennyiség, az előöntött terület, a kifolyás időtartama és a Kettős-Körös apadása közötti összefüggést mutatjuk be. A kiömlés kb. 20. órájára, amikor mintegy  $40 \text{ Mm}^3$  víz folyt ki és öntött el  $22 \text{ km}^2$ -t, érte el a gátszakadás árapasztó

hatása a maximumát,  $120 \text{ cm}$ -t, attól kezdve egy viszonylagos egyensúlyi helyzet állandósult, az előöntött öblözet telítődése csak alig mérsékelte a kiömlés ütemét. A kifolyt teljes vízmennyiség  $200 \text{ Mm}^3$  volt,  $105 \text{ km}^2$  került víz alá.



7. ábra. A töltésszakadáson kifolyt vízmennyiség, az elöntött terület, a kifolyás időtartama és a Kettős-Körös apadása közötti összefüggés (Szlávik 1982b)

Figure 7. Correlation between the amount of water discharged during the dyke breach, the flooded area, the duration of the outflow and the recession of the Kettős-Körös River (Szlávik 1982b)

Július 28-án 9:34-kor és 11:30-kor robbantással megnyitották a mérgesi árvízi szükségtározó töltését a Sebes-Körös és a Kettős-Körös felől (4. ábra). Ez annak érdekében történt, hogy a Kettős-Körösön az apadás meggyorsuljon, és ezáltal Hosszúfoknál minél kevesebb víz jusson ki az elöntésre kerülő területre. Az 18,23 km<sup>2</sup>-es mérgesi szükségtározóba 8 nap alatt 50 Mm<sup>3</sup> víz folyt ki.

A hosszúfoki töltésszakadás ideiglenes elzárását július 31–augusztus 4. között hat árvízvédelmi osztag készítette el vízről, pontonokról, kétsoros acéllemez szádfallal. Az elzárási munkák rendkívül nehéz körülmények között folytak, a 200–300 m<sup>3</sup>/s víz nagy sebességgel ömlött ki a területre. Az elzárást a hullámtér felé végrehajtani nem lehetett, a teljes kopolyát körül kellett zárni 8 és 12 m hosszú CS-1 és CS-2 típusú széles acéllemezekkel (3. kép). A két lemezor közé homok és homokzsák kitöltés, mögé homokzsák megtámasztás került. A 78 m hosszú töltésszakadást 300 m hosszú szádlemez-építménnyel lehetett elzárni; a két sor lemez közé és a megtámasztására közel 1 millió homokzsákot használtak fel.



3. kép. A hosszúfoki töltésszakadás elzárása, a víz visszavezetése. (Fotó: Vízzy Zsigmond)

Photo 3. Closing the long-term dyke breach, returning the water. (Photo: Zsigmond Vízzy)

A védelmi és ideiglenes elzárási munkákat rendkívül megnehezítette a július 29–31. közötti csapadékból kialakult újabb árhullám. Az előrejelzések és a hidrológiai számítások szerint a Fekete-Körös második árhulláma miatt a hosszúfoki töltésszakadás helyén legalább 110–140 cm-es vízszintemelkedés következett volna be, ami lehetetlenné tette volna az elzárási munka befejezését. További 60–80 Mm<sup>3</sup> víz kiömlésére kellett számítani, amely miatt a lokalizációs vonalak tarthatatlanok lettek volna – újabb 200 km<sup>2</sup> elöntése, a tarhosi körtöltés tönkremenetele, Bélme gyer és Újladány elöntése is fenyegetett. Ezekre a körülményekre tekintettel – megelőző védelmi intézkedésként – augusztus 1-én 20:55-kor 77 m hosszon robbantással megnyitották a mályvádi árvízi szükségtározó töltését (4. ábra). A 33,10 km<sup>2</sup> területű tározóból 25 km<sup>2</sup> került víz alá, és mindössze 19 Mm<sup>3</sup> víz kivezetésével biztosítható volt, hogy a Kettős-Körös menti elöntésnél a vízszintemelkedés csak 65 cm lett, további elöntés nem következett be, az elzárási munkák nem szüneteltek és augusztus 4-én 22:20-kor, 108 órás folyamatos megfeszített munka után eredményesen befejeződtek. Az ideiglenes elzárás utolsó szakaszában a Kettős-Körös és az elöntött terület között a vízszintkülönbség az addigi kb. 30 cm-ről – a szűkülő kifolyási nyílás visszaduzzasztó hatása miatt – 47 cm-re nőtt. Az ilyen körülmények között végrehajtott elzárás a hazai árvízvédekezés történetében jelentős teljesítmény volt. Ez az ideiglenes elzárás az árvízvédelmi töltés végleges helyreállításáig fővédvonalként szolgált.

A Kettős-Körösön a második árhullám és a Tisza áradása miatt az apadás rendkívül lassú volt. A töltésszakadástól a Hármas-Körös torkolatáig, 100 km hosszon a vízszint abszolút esése tartósan mindössze 2 m körüli volt. A folyó és az elöntött terület vízszintjének kiegyenlítődése ezért csak ez ideiglenes elzárás után 66 órával, augusztus 7-én 16 órakor következett be és csak ezután lehetett kapukat nyitni az ideiglenes elzáráshoz a víz gravitációs visszavezetésére.

A Kettős-Körös jobb parti elöntött területéről a víz visszavezetése az ideiglenes elzáráshoz nyitott 15 és 20 m-es (a későbbiekben tovább bővített) kapukon (3. kép) keresztül gravitációsan, valamint szivattyúsan (a szivattyútelepek üzembe helyezésével és szivattyú-provizóriumok telepítésével) történt.

A magasabban fekvő Hosszúfok IV. szivattyútelep nem került víz alá, ezért már augusztus 4-től üzemelt. A Hosszúfok II. és III. szivattyútelepeket a víz elöntötte, de a megrongálódott körtöltésük helyreállításával és megerősítésével lehetővé vált – a környezet teljes elöntése mellett is – a telepek víztelenítése, tisztítása, fertőtlenítése és szerelése; augusztus 15–16-tól pedig üzembe helyezésük is. A három szivattyútelepen 20,5 m<sup>3</sup>/s kapacitással folyt a víz visszaemelése a Kettős-Körösbe. A vargahosszai szivattyútelep nyomócsöve – ideiglenes megoldással – augusztus 15-től szeptember 9-ig gravitációs, majd szeptember 10-től – a telep helyreállítását követően – szivattyús visszavezetésre (6 m<sup>3</sup>/s) szolgált.

A Kettős-Körös jobb partján 7 helyen, és a Gyepes-csatorna felé üzemeltek szivattyú provizóriumok. Az ezzel

kapcsolatos munkák nagyságát jellemzi, hogy 72 szivattyút, összesen 23,2 m<sup>3</sup>/s névleges teljesítménnyel kellett szerelni, 4900 fm Ø 300–600 mm-es cső felhasználásával.

A vízvisszavezetés 46 nap alatt, *szeptember 22-re* gyakorlatilag befejeződött. Az előtött területen tározódott vízmennyiség visszavezetési folyamatára részletes vízház-tartási számítás készült. A kiömlött víz 43%-a gravitációsan, 27%-a a szivattyútelepekkel, 20%-a szivattyú provizóriumokkal került vissza a folyóba, 10%-a elpárolgott, illetve beszívárgott.

A töltésszakadás végleges helyreállítása *szeptember 2-án* kezdődött és az elmosott hullámtéren 10 ezer m<sup>3</sup> kő, valamint a töltésbe és az előtérbe 62 300 m<sup>3</sup> föld beépítésével október 6-ra fejeződött be. Az ideiglenes elzárás járszolgátja azonban csak az 1981. márciusi árhullám után került elbontásra.

A halaspusztai elöntésnél a vízvisszavezetés *augusztus 6-tól* folyt a Berettyóba és *augusztus 13-tól* a Sebes-Körösbe is, a végleges elzárás *szeptember 3-án* történt meg. A kiömlött 35 Mm<sup>3</sup>-ből 26 Mm<sup>3</sup> gravitációsan, 9 Mm<sup>3</sup> pedig szivattyúsán került visszavezetésre. A mályvádi szükségtározó töltésének helyreállítása *augusztus 23-ra*, a mérgesi szükségtározóé a Kettős-Körös

felől *augusztus 15-re*, a Sebes-Körös felől pedig *szeptember 30-ra* készült el; ideiglenes elzárást egyik helyen sem alkalmaztak. A vízvisszavezetés mindkét szükségtározónál nagyrészt gravitációs és kisebb arányban szivattyús volt.

### VÍZHOZAMOK ÉS A LEFOLYT VÍZMENNYISÉG

Az árhullámok levonulása idején vízhozam-sorozatmérésekre került sor, így nyomon követhetők voltak az árvíz sajátosságait tükröző, rövid idő alatt és nagymértékben változó vízállás–vízhozam összefüggések és elvégezhetők voltak a szükségtározásokkal, elöntések visszavezetésével kapcsolatos operatív vízrajzi feladatok. Az 1980. július 23–szeptember 4. közötti 44 napos időszakban a Körösök 15 szelvényében összesen 457 árvízi vízhozammérésre került sor (a KÖVIZIG, a TIVIZIG mérőcsoportjainak és a VITUKI, valamint más vízügyi igazgatóságok további 7 kirendelt mérőcsoportjának munkájaként). A folyókon végzett vízhozammérések eléggé egyenletesen kiterjedtek a teljes vízjárásra. Annak ellenére, hogy az 1980. évi mindkét árhullám áradása igen heves volt és a tetőzés gyorsan bekövetkezett, az árhullámoknak ezt a legnagyobb vízhozamokkal lefolyó részét is sikerült a legfontosabb szelvényekben megmérni (3. táblázat).

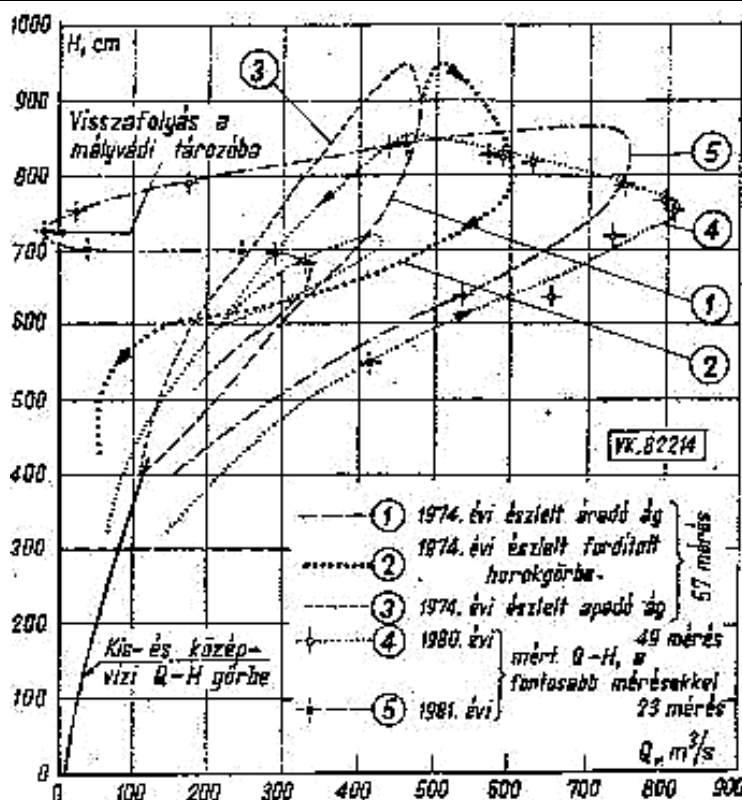
3. táblázat. Az 1980. évi árvíz során mért és számított legnagyobb vízhozamok  
Table 3. Maximum discharge measured and calculated during the flood in 1980

Folyó	Szelvény	F (km <sup>2</sup> )	Legnagyobb vízhozam (m <sup>3</sup> /s)				A fajlagos lefolyás maxi- muma természetes álla- potban (l/s km <sup>2</sup> )
			természetes		töltésszakadással befolyásolt		
			mért	számi- tott	mért	számított	
Fehér-Körös	Gyula	4 251	290	---	---	---	68
Fekete-Körös	Remete	4 644	810	---	---	---	174
Kettős-Körös	Békés	9 011	---	840	840	855	93
Sebes-Körös	Körösszakál	2 489	545	---	---	---	219
Sebes-Körös	Fokihíd	2 853	538	---	---	---	189
Berettyó	Darvas	5 008	272	---	---	---	54
Berettyó	Szeghalom	5 812	---	200	266	290	34
Sebes-Körös	Körösladány	8 985	---	560	537	---	62
Hármas-Körös	Gyoma	19 715	1170	---	---	---	59

Az 1980. évi árvíznél tapasztalt, nagyoobbrészt mérésekkel nyomon követett sajátos vízállás–vízhozam összefüggésekből, amelyeket 11 szelvényben határoztunk meg, kettőt mutatunk be (Szlávik 1982).

A *Fekete-Körös remetei szelvényének* árvízi vízhozamgörbéjét a 8. ábra mutatja (az elemzések érdekében az 1974. évi és az 1981. évi rendkívüli árvizek vízállás–vízhozam összefüggésével együtt). Ebben a szelvényben az 1980. évi árvíz során 49 vízhozammérés történt. Az árhullám kialakulását megelőzően a folyón kis vízhozam volt (8 m<sup>3</sup>/s). Az áradás rendkívüli hevesége a vízhozamok gyors növekedésében is megmutatkozott és ez a vízhozamgörbén igen meredek áradó ágat eredményezett (8. ábra). A folyó vízhozama 48 óra alatt

százszorosára, a vízhozamtetőzést megelőző 24 óra alatt tízszeresére növekedett. A vízhozam leggyorsabb növekedésekor egyetlen óra alatt a növekmény 110 m<sup>3</sup>/s volt — még a leghevesebb vízjárásának ismert Sebes-Körösön, Körösszakálnál sem vált ez sohasem több 50 m<sup>3</sup>/s-nál. A mért legnagyobb vízhozam (LNQ) 810 m<sup>3</sup>/s volt július 24-én 23 órakor 750 cm-es vízállásnál, szemben az eddig mért 485 m<sup>3</sup>/s-os LNQ-val (1974. június 15-én 900 cm-es vízállásnál) (8. ábra). Ez két tényező szerepével magyarázható. Egyrészt, a Fekete-Körös és a Tőz legnagyobb vízhozamai feltehetőleg egymásra futottak, másrészt pedig a folyó esése több, mint kétszerese volt az addigi legnagyobbknak. Az LNQ 67%-os növekedése joggal minősíthető példátlan hidrológiai jelenségnek.



8. ábra. A Fekete-Körös árvíz vízhozam-hurokgörbéi a remetei szelvényben (Szlávik 1982b)  
Figure 8. Hysteresis rating curves of the Fekete-Körös River flood discharge in the Remete section (Szlávik 1982b)

A 4. táblázat adataiból kitűnik, hogyan változtak a legnagyobb számított vízhozamok a Körösök néhány fontosabb szelvényében a szabályozások kezdetétől 1980-ig (Szlávik 1982b). A Bodoky által 1855-ben végzett számításból kiindulva az LNQ 1980-ig általában kétszeresére, a Fekete-Körösön viszont négyszeresére növekedett. A Fe-

kete-Körösön a vízhozam hurokgörbe „tágassága” többszöröse volt az eddig előfordultaknak: a 750 c-m-es vízállásnál az apadó ág vízhozama alig 40%-a volt az ugyanazon vízállásnál mért áradó ági értéknek (8. ábra). Július 25-én egyetlen nap alatt 56 Mm<sup>3</sup> víz folyt át a remetei szelvényen, a napi középvízhozam 650 m<sup>3</sup>/s volt.

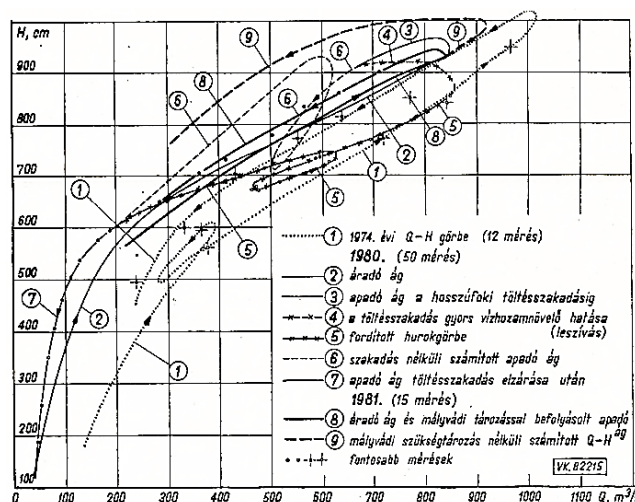
4. táblázat. Mért és számított legnagyobb vízhozamok a Körösökön (az 1980. évi árvizet megelőzően)  
Table 4. Measured and calculated maximum water flows in the Körös Rivers (before the 1980 flood)

Folyó	Szelvény	F (km <sup>2</sup> )	Számított NQ (m <sup>3</sup> /s)		LNQ (m <sup>3</sup> /s)		Legnagyobb fajlagos vízhozam (l/s km <sup>2</sup> )	
			Bodoky (1855)	Korbély (1916)	mért	számított	mért	számított
Fehér-Körös	Gyula	4 251	310	400-500	442 (1974)	508 (1974)	104	120
Fekete-Körös	Remete	4 644	203	600-700	485 (1974)	485 (1974)	104	104
Kettős-Körös	Békés	9 011	500		857 (1974)	948 (1974)	95	105
Sebes-Körös	Körösszakál	2 489			461 (1974)	600 (1919)	185	241
Sebes-Körös	Körösladány	8 985	316	500-600	348 (1974)	540 (1970)	39	60
Hármas-Körös	Gyoma	19 715	900	1200-1500	1590 (1970)	1700 (1970)	81	86

A Kettős-Körös békési szelvényének árvízi vízhozamgörbéjét a 9. ábra mutatja (az elemzések érdekében ugyancsak az 1974. évi és az 1981. évi rendkívüli árvizek vízállás-vízhozam összefüggésével együtt). Ebben a szelvényben az 1980. évi árvíz idején 50 vízhozammérés volt (9. ábra). Az áradó ágon és az apadó ág kezdetekor (a töltésszakadásig) itt sajnos nem történt vízhozammérés, ezért a vízhozamgörbének ezt a szakaszát hidraulikai megfontolások alapján szerkesztettük meg. A hagyományos árvízi hurokgörbe apadó ága a töltésszakadás miatt, július 28-án 7 órakor élesen megtört. Az 5. ábrán bemutatott hirtelen esésnövekedés hatására gyors vízhozamnövekedés következett be. A békési szelvényben kialakult az ún. „fordított” hurokgörbe, amelyet az 1974. évi árvízi

szükségtározásnál is megfigyeltünk és mérésekkel igazoltunk (Szlávik 1976). Az apadó ágon a vízhozamok – azonos vízállások mellett – nagyobbak, mint az áradó ágon, egészen augusztus 4-ig, amikor befejeződött a töltésszakadás ideiglenes elzárása és esésnövekedő, leszívó hatása megszűnt, helyreállt a folyó vízszállításának természetes egyensúlyi állapota ezen a szakaszon. A második ár hullám hurokgörbéje (július 30–augusztus 3. között) is kimutatható volt. A legnagyobb természetes vízhozam 840 m<sup>3</sup>/s volt, ezt az apadó ágon vízhozamcsökkenés követte, majd a szakadás után 855 m<sup>3</sup>/s volt a maximum (ezt gyakorlatilag sikerült méréssel meghatározni). (Hasonló „fordított” hurokgörbét tapasztaltunk a Halaspuszta fölött levő szeghalmi és fokihídi szelvényekben is.)





9. ábra. A Kettős-Körös árvíz vízhozam-hurokgörbéi a békési szelvényben (Szlávik 1982b)

Figure 9. Hysteresis rating curves of the Kettős-Körös River flood discharge in the Békés section (Szlávik 1982b)

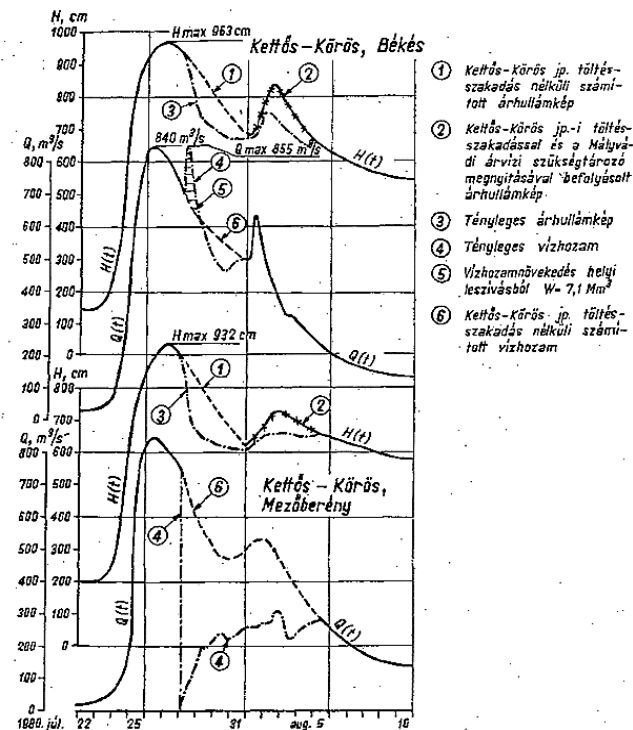
A július 22–augusztus 31. közötti időszak alatt a Hármas-Körös gyomai szelvényében  $1362 \text{ Mm}^3$  víz folyt le és további  $45 \text{ Mm}^3$  volt még ekkor az elöntött területeken, tehát a teljes lefolyás itt  $1407 \text{ Mm}^3$ . A sokévi átlagos lefolyás Gyománál  $3150 \text{ Mm}^3$  volt (1980-ban 42 nap alatt ennek csaknem fele lefolyt). A teljes lefolyás 19%-a a Fehér-, 36%-a a Fekete-, 28%-a a Sebes-Körösön és 17%-a a Berettyón érkezett, a Kettős- és a Sebes-Körös között a lefolyás megoszlása 55–45%-os volt. Az öt helyen kiömlött, összesen  $340 \text{ Mm}^3$ -nyi víz az időszak teljes lefolyásának csaknem egynegyedét tette ki. Ez az arány időszakosan még nagyobb is volt: augusztus 1-én az addig lefolyt  $800 \text{ Mm}^3$ -es víztömegből 35% volt kinn a területen (4. ábra).

A részletesebb csapadékadatok hiányában a lefolyási tényező értékét csak becsülni lehetett: megközelítőleg 0,4-re a Fehér-Körösre, 0,5-re a Fekete-Körösre és a Berettyóra, 0,6-ra a Sebes-Körösre.

#### AZ ÁRHULLÁMOK TÖLTÉSSZAKADÁSOK ÉS A SZÜKSÉGTÁROZÁSOK NÉLKÜLI PARAMÉTEREI

Az árvíz során végzett mérések és részletes észlelések adatainak feldolgozása alapján valamennyi fontosabb szelvényre meghatározhatók voltak a töltésszakadások és a szükségtározások nélküli árhullámképek. A 10. ábra ezt a Kettős-Körös békési és mezőberényi szelvényére mutatja be. Az ábrán nyomon követhetők a hosszúfoki töltésszakadással és a mályvádi árvízi szükségtározó megnyitásával befolyásolt vízhozam-, illetve vízállás-változások.

A békési vízhozam-árhullámképen (10. ábra) jól megfigyelhető a helyi leszívásból származó vízhozamnövekedés, amely a mederben és hullámtéren tározódott vízmennyiség gyors kiürüléséből adódik. Ez a jelenség akkor áll elő, ha a víz kifolyása a folyóból a vizsgált vízmérce szelvény alatt bekövetkezett töltésszakadás miatt történik. A töltésszakadás következményeként a vízhozam ugrásszerűen megnőtt, ami  $W=7,1 \text{ Mm}^3$  vízmennyiségnek felelt meg. A békési szelvényben végzett szinte folyamatos vízhozammérések ezt az értéket alátámasztották. (Hasonló jelenséget az 1974. évi körösi árvíznél is megfigyeltünk és kimértünk.) (Szlávik 1976, 1998).



10. ábra. Az 1980. évi árvíz hosszúfoki töltésszakadással és mályvádi szükségtározással befolyásolt és azok nélküli, rekonstruált árhullámképei a Kettős-Körösön (Szlávik 1982b)

Figure 10. Reconstructed flood wave curves of the 1980 flood on the Kettős-Körös River, influenced by long-term dyke breach and emergency storage in Mályvád (Szlávik 1982b)

A tényleges és számított vízállás és vízhozam tetőzések adatait a 3. táblázat foglalja össze. Az árhullám tetőzését a Fekete-Körösön némileg befolyásolta a Töz töltésszakadása. A vízhozam azonban akkor már a torkolatig tetőzött, a vízállások további emelkedése e töltésszakadás nélkül pedig már csak néhány cm lett volna. A hosszúfoki töltésszakadás apadó ágon történt, az a tetőző vízhozamokat és vízállásokat már nem befolyásolta.

A halaspusztai terület feltöltődésekor mind a Berettyó, mind pedig a Sebes-Körös árhulláma még áradó volt. Mivel a két mérőszelvény a víznek a terepre való kifolyásának szelvénye fölött volt, a ténylegesen észlelt tetőző vízhozam itt – a leszívó hatás következtében – 70 és 18



m<sup>3</sup>/s-mal több volt, mint amennyi a töltésszakadás nélkül kialakult volna. A vízszintek itt 22–38 cm-rel meghaladták volna a tényleges maximumokat, 2–26 cm-rel az LNV-t, de lejjebb, a Hármaskörösön ez már nem lett volna kimutatható. A hatás természetesen abban is megnyilvánult, hogy lényegesen csökkent a nagyvízszintek tartóssága.

### AZ 1980. ÉVI ÁRVÍZ HIDROLÓGIAI ÉRTÉKELÉSE

Az 1980. évi Körös-völgyi árvíz nem csak a súlyos, nagy károkat okozó következményei miatt, hanem hidrológiai szempontból is indokoltan nevezhető rendkívülinek.

Ilyen méretű nyári árvízre nem volt még példa a Körösökön. Az évtizedek óta megszokott csapadékeloszlástól az 1980. évi eltért: az egymást követő több csapadékhullám mindegyikénél a legnagyobb esőzés mindig a Fekete- és Sebes-Körös hegyvidéki vízgyűjtőjénél volt, ahol az eddigi legnagyobb 24 órás csapadékmennyiséget észlelték (a csapadék általában vagy csak a két déli, vagy csak a két északi mellékfolyót, vagy az egész vízgyűjtőt a mostaninál egyenletesebben éri – az időjárási front irányától függően).

Ugyancsak egyedülálló volt az áradás hevéssége is a Fekete-Körösön, ahol az árvízet megelőző időszak kisvízállásai miatt üres mederbe érkező árhullám soha nem tapasztalt eséssel vonult le és a folyó az eddig észlelt legnagyobb vízhozam több mint másfélszeresét szállította. A Körösökön lefolyt vízmennyiség szempontjából a Fekete-Körösé volt a döntő szerep. A lefolyásnak víztömeg-mérlegekkel való ellenőrzése révén részletes képet kaptunk az árvízi vízforgalomról.

Az árhullámoknak nem csak a *tetőző szintje*, hanem a *tetőző vízhozama* is megnőtt a szabályozások kezdete óta. 1915–1980. között a Fekete-Körösön 21, a Fehér-Körösön 25 olyan árhullám vonult le, amelynek tetőzése meghaladta a III. árvízvédelmi készültségi fokozat vízszintjét. Az árhullám által szállított víztömeg szempontjából az első 4 helyen az 1966. óta levonult árvizek álltak.

Az 1966–1980. között jelentkezett négy nagy árvíz tapasztalatai alapján – a meteorológiai körülmények és hidrometeorológiai feltételek egyes tényezőinek rendkívülisége ellenére, a jelenségek okainak kutatása során ezeket figyelembe véve – a Körösök korábbi viselkedésének, árvízi hidrológiai sajátosságainak változásával is számot kellett vetni. A Körösök csaknem minden jellemző vízmérce szelvényében az árvízszint és árvízhozam gyors ütemű növekedése volt tapasztalható. Ez a legszembetűnőbb a Fekete-Körösön Antnán, ahol 1966–1980. között négyszer alakult ki a korábnál magasabb vízszint, a növekedés 160 cm volt! Hevesebb lett az árhullámok áradó ága, az apadó ágon pedig tartós magas vízállással kellett számolni. A vízállások tartóssága a legnagyobb vízszintek tartományában nőtt és ez addig nem tapasztalt terhelést jelentett az árvízvédelmi töltésekre. Nagymértékben növekedett a lefolyt víztömeg és a lefolyási hányad is emelkedő tendenciájú volt.

Az 1980. évi árvíznél végzett vízrajzi észlelések és mérések, a hidrológiai tapasztalatok elemzése (a sajátos árvízi

hurokgörbék, a töltésszakadások és szükségtározások hidrológiai hatása, a lokalizálás, vízviasszevetés hidrológiai tapasztalatai stb.) a Körös-völgy árvízvédelmének további fejlesztése, a különböző védelmi módszerek alkalmazása szempontjából meghatározó jelentőségűek voltak.

A Körösök adták az első hidrológiai jelét az árvízi paraméterek intenzív növekedésének a Tisza-völgyben.

### AZ 1980. ÉVI KÖRÖS-VÖLGYI ÁRVÍZ KÖVETKEZMÉNYEI

A Körösök árvizeinek és árvízvédelmének történetében kiemelkedő helyet foglal el az 1980. évi árvíz. A két töltésszakadás jelentős tanulságokkal szolgált az árvízvédelmi fejlesztések szempontjából. A halaspusztai töltésszakadás nyomán megszigorították az átmeneti időjárású, őszi végi-téli kezdeti időszak építési előírásait. A hosszúfoki töltés előzetes jelek nélküli átszakadása ráirányította a figyelmet arra, hogy milyen fontos a töltések altalaj-viszonyainak feltárása, megismerése. Ezt az 1980 utáni években országosan elvégezték és ezzel a hasonló okokból kialakuló jelenségeket feltehetőleg meg lehetett előzni.

Az 1980. évi (és az azt 7 hónap múlva követő 1981. évi) árhullámok megerősítették annak szükségességét, hogy a Körösök árvízi sajátosságainak okait kutatva részletesen elemezni kell a meteorológiai körülmények és hidrológiai feltételek egyes tényezőinek rendkívüliségét; amelyek az 1966–1980. közötti (és azt követő) árvízi helyzetek kialakulásában közrejátszottak. A nagy Körös-völgyi árvizek tapasztalatai alapján részletesen elemeztük a Körösök árvízi viselkedését, hidrológiai sajátosságait, az árvizek természetének változását. E vizsgálatok eredményei kihatottak a fejlesztési koncepciók alakítására.

Az 1980. (és a továbbiakban, az 1981.) évi Körös-völgyi árvizek nagyot lendítettek a szükségtározás módszerének üzemszerű alkalmazásán. Tulajdonképpen ez az időszak volt az, amikor a védekezési módszerek eszköztárában polgárjogot nyert az árvíz oldaltározóba történő szabályozott kivezetése és visszatartása. Ez pedig messzire kihatott – tulajdonképpen a több mint 20 évvel később induló Vásárhelyi-terv Továbbfejlesztése (VTT) elnevezésű tiszai fejlesztési programig vezetett (Szlávik 2004).

Azt is egyértelműen rögzíteni kell, hogy 1980-ban a mérgező szükségtározó igénybevétele nem volt hatékony. Igénybevétele révén nem sikerült meggyorsítani az apadást, mérsékelni a töltésszakadást kiömlő vízmennyiséget. Nem rendelkezünk tapasztalattal, akkor még nem voltak numerikus modellezési lehetőségek – túlbecsültük a hosszúfoki töltésszakadás alatt elhelyezkedő mérgező szükségtározó leszívó hatását. Ugyanakkor a mályvádi szükségtározó felhasználása a második árhullám tetőző vízhozamának és így vízszintjének a csökkentésére kiváló és hatékony eszköznek bizonyult, hasonló helyzetekre a jövőben is példaként szolgálhat.

Az 1980. évi töltésszakadást kiömlött víz lokalizálásának tapasztalatai, az annak során rögzített megfigyelési adatok (6. ábra) a lokalizációs célú modellezési feladatokhoz nyújtanak segítséget, adnak példát még napjainkban is.

Az 1990-es évtized közepén, 15 évvel a sok ezer embert megmozgató, egyidejűleg hat árvízvédelmi osztag megfeszített munkáját igénybe vevő hosszúfoki védekezés után a védekezés-irányítás ottani tapasztalatai szolgáltak alapul a VIR (Vízkárelhárítási Védekezési Információs Rendszer) kidolgozásához (Szlávik 1999). Ez pedig az utóbbi negyedszázadban nélkülözhetetlen kelléke, mindennapi eszköze lett a nagy volumenű országos vízkárelhárítási védekezési munkák informatikai kiszolgálásának, támogatásának.

## IRODALOMJEGYZÉK

Ambrus L. (1967). Árvíz a Körösökön. *Vízgazdálkodás*, 1. szám. pp- 8-10.

Diaconu, C., Lăzărescu, D., Mociorniță, C. (1970). Aspecte hidrologice ale viiturilor pe unele râuri interioare din primăvara anului 1970, Hidrotehnica, nr. 12, București. (Egyes folyóink 1970. évi tavaszi árvizeinek hidrológiai képe). Hidrotehnica, nr. 12, București.

Diaconu, C. (1971). Riurile Romanie (Románia folyói). Monografie hidrologică. Institutul de Meteorologie și Hidrologie, București. (Román nyelven).

Fejér L. (szerk.) (2001). Vizeink krónikája. Vízügyi Múzeum, Levéltár és Közgyűjtemény, Budapest. ISBN 963 00 8967 X.

Gallacz J. (1896). Monográfia a Körös-Berettyó völgy ármentesítéséről és ezen völgyben alakult vízrendező társulatokról. I—XI. Nagyvárad.

Goda L. (szerk.) (1965). Magyarország vízvidékeinek hidrológiai viszonyai. VITUKI. Budapest.

Homokiné Újvári K., Makainé Nagy Zs., Takács A. (1981). Az 1980. évi Tisza-völgyi árvíz Időjárási feltételei. *Vízügyi Közlemények*, 2. füzet.

Ihrig D. (szerk.) (1973). A magyar vízszabályozás története. Budapest, VÍZDOK.

Korbély J. (1917). A Körösök és a Berettyó szabályozása. *Vízügyi Közlemények* 1916/6., 1917/1.

Litauszki I. (1980): Az 1980. júliusi-augusztusi Tisza-völgyi árvíz. *Magyar Vízgazdálkodás*, 9. szám.

Papp F. (1966). A Berettyó 1966. évi jeges árvize. *Vízgazdálkodás*, 6. szám.

Papp F. (1971). Árvízvédekezés a Sebes-Körösön és a Berettyón. *Vízügyi Közlemények*, 3. füzet.

P. Károlyi Zs. (1968). A Körös-völgy vízrendezésének történetéből. *Vízgazdálkodás*, 5. szám.

Szlávik L. (1976). Az 1974. évi Körös-völgyi árvíz hidrológiai jellemzése. *Vízügyi Közlemények*, 1. füzet.

Szlávik L. (1978). A mályvádi árvízi szükségtározó hidrológiai vizsgálata. *Vízügyi Közlemények*, 1. füzet.

Szlávik L. (1979). A Körösök hegyvidéki vízgyűjtő területének néhány fontosabb vízállásirányítójele a Román Szocialista Köztársaságban. *Vízügyi Közlemények*, 1. füzet.

Szlávik L. (1980). Árvízi szükségtározók tervezése, építése és üzemelése. VÍZDOK, Budapest.

Szlávik L. (1982a): A Körösök árvizeinek néhány hidrológiai sajátossága és az 1980. évi árvíz. *Alföldi Tanulmányok*, VI.

Szlávik L. (1982b). Az 1980-81. évi Körös-völgyi árvizek hidrológiai jellemzése. *Vízügyi Közlemények*, 2. füzet.

Szlávik L. (1998). Árvizek szükségtározása. *Vízügyi Közlemények*, 1. füzet.

Szlávik L. (1999). A vízkárelhárítási védekezési feladatok országos információs rendszerének koncepciója, megvalósítása és működése. *Vízügyi Közlemények*, 1. füzet.

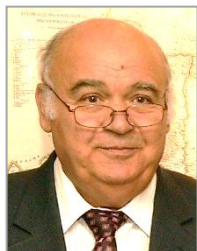
Szlávik L. (2004). A Vásárhelyi-terv: árvízvédelem, terület- és vidékfejlesztés a Tisza mentén. *Mérnök Újság*, 2004. március.

Takács L. (1971). Védekezés a Körösökön. *Vízügyi Közlemények*, 3. füzet.

Takács L. (1980). A körösi árvíz. *Magyar Vízgazdálkodás*, 10. szám.

VITUKI (1976). Hidrológiai alapok a magyarországi folyók mértékadó árvizeinek meghatározásához. [I. Összefoglaló. II. tanulmányok: 1. Hidrológiai vizsgálatok; Genetikai vizsgálatok; 3. Morfológiai vizsgálatok; Hidrológiai statisztikai vizsgálatok. III. Függelék], Budapest.

## A SZERZŐ



**SZLÁVIK LAJOS** okleveles mérnök-hidrológus, építőmérnök (1970), vízkészlet-gazdálkodási és hidrológiai szakmérnök (1978). 1982-ben egyetemi doktori fokozatot, 1997-ben PhD fokozatot szerzett. Európa-mérnök (1999). 1970-1991. között vízügyi igazgatóságoknál, majd 2004-ig az OVF-ben, a VITUKI-ban és KvVM-ben dolgozott vezető beosztásokban. 27 éven át, 1993-tól 2000-ig tanított Baján főiskolai docensként, főiskolai tanárként. 2013-ban Professor Emeritus címet kapott. 2017-től a Nemzeti Közzolgálati Egyetem egyetemi magántanára. 2014-től az OVF Vízügyi Tudományos Tanács tagja. 2016-tól a Magyar Mérnöki Kamara tiszteletbeli tagja. Fontosabb kitüntetései: Magyar Köztársaság Lovagkeresztje (2008), Vásárhelyi Pál-Díj (2010), Reitter Ferenc-Díj (2017), Magyar Érdemrend Tisztikeresztje (2019). Mintegy 300 publikációt jegyez (részben társszerzőkkel), amelyből 25 könyv, illetve könyvrészlet, könyvfejezet a hidrológia, árvízvédelem, vízgazdálkodás, vízügytörténet témaköreiből. Négyyszer kapta meg az MHT Vitális Sándor szakirodalmi díját. 1970 óta tagja az MHT-nak. Két ciklusban az MHT alelnöke (1996–2003), majd főtítkárá (2007–2011), 2011-től a Társaság elnöke. MHT kitüntetései: Pro Aqua emlékérem (1977), Schafarzik Ferenc-díj (1992), Bogdánfy Ödön-díj (1999). Kutatási területei: műszaki hidrológia; magyarországi folyók árvizeinek kialakulása, hidrológiája; az árvizek elleni védekezés módszerei, technológiái; ármentesítés, árvízvédelem; a síkvidéki árvíztervezés alkalmazása; az árvízszintek emelkedésének okai; vízkárelhárítási védekezés-irányítás informatikai módszerei; a hazai árvízvédekezés, árvízvédelem története; vízkészlet-gazdálkodás; vízügytörténet.

## Völgyzárógátak földrengésbiztos tervezésének fejlődése

Dr. Nagy László\*, Illés Zsombor\*

\*Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőmérnöki Kar, Geotechnika és Mérnökgeológiai Tanszék  
(E-mail: nagy.laszlo@epito.bme.hu, zsombor.illes@epito.bme.hu)

### Kivonat

Szerencsére nagyon ritka, de nem elképzelhetetlen, hogy völgyzárógátak földrengés következtében tönkremenjenek. A rézsűk földrengéssel szembeni ellenállásának a meghatározására több módszert is kidolgoztak a mérnökök. Ezek közül kerül bemutatásra a koordináta-transzformáció, a pseudo-statisz eljárás, a Newmark-módszer alkalmazása és egyéb numerikus módszerek. A számítási eljárások sokat finomodtak, egyre több részletet vesznek figyelembe, ezáltal megbízhatóságuk sokat javult, és a szabványokba is beépültek. A gátak földrengés biztos tervezése a kivitelezési kérdéseken át a szerkezeti kialakításon keresztül, a komplex méretezési kérdéseket is magába foglalja.

### Kulcsszavak

Nagygátak, koordináta-transzformáció, pseudo-statisz vizsgálat, Newmark-módszer.

## Evolution of the earthquake resistant design of embankment dams

### Abstract

It is very rare, but not inconceivable that embankment dams would fail due to earthquake. For the earthquake-resistant design of slopes a few different design methods are developed by engineers. From these methods the infinite slope's limit equilibrium the pseudo-static and the Newmark sliding block analysis as well as other numerical procedures are presented. The calculation methods attenuated, more and more phenomena are taken into account, hereby the reliability of these methods improved a lot by overcoming initial shortcomings. Some of these methods are implemented in design codes. Safe earthquake design of dams includes a lot of components, through construction and structural design issues, including complex dimensioning problems.

### Keywords

Dams, infinite slope's limit equilibrium, pseudo-static analysis, Newmark-method

### BEVEZETÉS

A gátak földrengés állóságáról egyre többet tudunk. Ha csak az utóbbi harminc év fejlődését nézzük az ICOLD szerinti tartósan vizet tartó nagygátak esetében az *ICOLD 52 Bulletinje 1986* óta, megállapítható, hogy a földrengésnek ellenálló gátak építése korszakalkotó fejlődésen ment keresztül. Kétségtelen, hogy a gátak, különösen a nagygátak tervezésénél nem csak a tervezési földrengés nagysága, a várható gyorsulások meghatározása, az altalaj és a gát válasza adja a legnagyobb tervezési kihívást jelenleg. Kevés ismeretünk van a gátak földrengés állékonyságával kapcsolatban, mert szerencsére kevés gát ment tönkre földrengés hatására. Így még a „back analysis” kínálta lehetőség is kevésbé alkalmazható, nem tudjuk, mekkora teherbírású tartálékkal rendelkeznek a nagygátak. Fontos különbséget tenni a károsodott és a tönkrement (vagy átszakadt) gátak között. A károsodott gátaknál a gát egy vagy több eleme tönkre is mehetett, de átszakadása, a tározó leürülése és az alvízi oldal elöntése nem következett be. Ilyen gátak voltak például az alsó San Fernando gát, a Sheffield (Santa Barbara) gát, a Zipingpu gát stb.

Földrengés hatására bekövetkezett gátszakadás a kézirat leadásáig az utóbbi néhány évtizedben csak a Fujinuma gát szakadása a nagy Tohoku földrengés következtében 2011. március 11.-én volt (Ono és társai, 2011). Azonban ezen gátszakadás irányította rá a nemzetközi figyelmet arra, hogy az i.sz. 701-ben épült többször magasított, erősített Japán Mannou-tó gátja az 1854. évi Ansei Nankai (M8,4) földrengés hatására átszakadt. Bár az esemény feljegyzésén kívül nem sok információ maradt fenn,

erősen szeizmikus területen ez ismert jelenség. A gátat újjá építették, hiszen a rizsföldek öntözéséhez vízre volt szükség (Ono és társai 2011).

A zagygátaknál jelentős számban jelentkezett a földrengés, mint kiváltó ok, a különböző tönkremeneteli mechanizmusokon keresztül. Az a sajátos helyzet alakult ki, hogy annak ellenére, hogy a zagygátaknál alkalmazott előírások kialakításánál, azok tervezésével kapcsolatos ismeretekhez mindig a nagygátaknál szerzett tudást alkalmazták. A földrengés szempontjából való tervezéshez viszont a zagygátak tönkremeneteli jelentenek szélesebb körű ismeretet, ugyanis legalább 11 zagygát ment tönkre földrengés hatására a múltban. Ezek közül legalább hat a 1965. március 28-i chilei földrengés (Nagy 2012). A Japánhoz tartozó Izu-Oshima szigetének közelében 1978. január 14-én bekövetkezett 6,8-as magnitúdójú földrengés megromlított egy zagygtározó gátját (Shimazaki és Somerville 1979). A gát tönkremenetelét követően 76 000 m<sup>3</sup> nátrium-cianidot tartalmazó zagy szabadult el, komoly természeti katasztrófát okozva. A tározó gátját korábban megvizsgálták pseudo-statisz módszerrel 0,2-es szeizmikus együttható mellett 1,3-as biztonsági tényezőt kaptak a mérnökök, ez mégsem bizonyult elégségesnek a mért 0,3g-s talaj gyorsulás esetén. Az esetet az 1. táblázatban is feltüntettük.

### GÁTAK FÖLDRENGÉSBIZTOS TERVEZÉSEKOR FIGYELEMBE VEENDŐ TÉNYEZŐK

Az ICOLD (Bulletin 52 1986) az alábbiak szerint csoportosítja a lehetséges a földrengések hatására bekövetkező tönkremeneteli mechanizmusokat:

- Rézsű tönkremenetel – bele tartozik a közvetlenül a rengés következtében elcsúszó rézsű és annak hatására lejátszódó tömörödés süllyedés következtében tönkremenő rézsű is.
- A gát elcsúszása gyenge altalajon – csak nagyon extrém esetekben következhet be ez a tönkremeneteli mód.
- A gát vízzáró magjában a földrendés hatására kialakult repedés hálózaton történő szivárgás, csurgás hatására bekövetkező tönkremenetel.

### ELŐVIGYÁZATOSSÁGI LÉPÉSEK

A gát tönkremenetele földrendés hatására több mechanizmussal is bekövetkezhet (Seed 1981):

- A gát törése egy az alatta lévő nagyobb vető elmozdulásával.
- A magassági biztonság elvesztése tektonikai mozgás következtében.
- Rézsűcsúszás indukálta mozgás.
- A magassági biztonság elvesztése rézsűcsúszás vagy utólagos tömörödés miatt.
- A gát suvadása gyenge alapokon.
- Buzgár okozta talajtörés talajmozgás által kiváltott repedéseken keresztül.
- A gát meghágása a tározóban kialakult seiche miatt.
- A gát meghágása lejtőmozgás vagy szikláknak a tározóba zuhanása miatt.
- Műtárgy (árapasztó vagy leeresztő műtárgy) meghibásodása.

Az 1980-as években kialakult általánosan elfogadott fontos szempontok szerint a tervezés kezdeti fázisában földrendés veszélyes területen a következő védelmi intézkedésekkel kell számolni, melyeknek a megvalósítását a kivitelezés során sem szabad elhanyagolni:

- Elegendően nagy magassági biztonság, hogy elkerülhető legyen a suvadás vagy más mozgás kialakulása miatti meghágás.
- A vízzáró magot megfelelően képlékeny anyagból kell építeni, amire nem jellemző a rideg tönkremenetel.
- Kémény szivárgók alkalmazása a gát központi részén.
- A szivárgó vizek visszaduzzasztásának megakadályozása, a várható vízhozam többszörösének elvezetését kell biztosítani.
- Valamely elfogadott szűrőszabály szerint kialakított szűrő zóna alkalmazása a felvízi oldalon a vízzáró burkolat alatt.
- Jól osztályozott szűrőzónát alkalmazása a vízzáró mag mellett, hogy az repedésgátlóként szolgáljon.
- Olyan széles átmeneti zóna alkalmazása, mellyel elkerülhetők a repedések.
- A töltésmagnak a töltésvállakba történő bekötése.
- Olyan korona tervezése, amelyek megakadályozzák az eróziót meghágás esetén.
- A víztározó körüli rézsűk megfelelő kialakítása, esetleges stabilizálása, hogy azok ne csúszhassanak bele a tározóba, ezzel kritikusan megemelve a vízszintet.

### A FÖLDRENGÉSEK HATÁSA

A mérnöki szerkezetek tönkremenetelének vizsgálatánál a hatásmechanizmus meghatározása a feladat. Különböző hatások kiválthatnak azonos mechanizmusokat, és adott hatáshoz is tartozhatnak eltérő tönkremeneteli mechanizmusok. Földrendés, mint kiváltó ok, mint hatás, esetén ez részben azt jelenti, hogy létrejöhet ugyanolyan rézsűcsúszás, ugyanolyan suvadás, mint például vízterhelés hatására. Másrészt azt is jelenti, hogy földrendés hatására több tönkremeneteli mechanizmus is kialakulhat a helyi adottak függvényében.

A tönkremeneteli mechanizmusoknak széles skálája van. Ezek az elméletileg bekövetkező tönkremeneteli mechanizmusok. Ezek közül egy adott területre determinisztikusan ki lehet zárni bizonyos tönkremeneteli mechanizmusokat, mint például a tsunami hatására történő elöntést Magyarország területén. További csökkentési lehetőség az olyan ritkán előforduló tönkremeneteli mechanizmus, melynek valószínűsége a számolhatóság határán kívülre esik, pl. tölengés kialakulása a tározóban. A fennmaradt tönkremeneteli mechanizmusok a kialakulható tönkremeneteli mechanizmusok. Ezekben belül csak egy kis részhalmazt jelentenek azok, melyek számítása megoldott, mint például a rézsűállékonyság számítása.

A szakirodalom alapján a következő tönkremeneteli mechanizmusok azonosíthatók legnagyobb valószínűséggel földrendés hatására (újra hangoztatni kell, hogy nagyon kevés bekövetkezett gátszakadási ismerettel rendelkezünk, ezért más mérnöki területeken tapasztalt esemény sorozatokat a szimilitás elve alapján lehet és kell vonatkoztatni):

- Megfolyósodás (liquefaction) mint közbenső jelenség hatására kialakuló gátszakadás.
- Statikus többleterő hatására kialakuló rézsű tönkremenetel vagy altalajtörés következtében kialakuló gátszakadás.
- Tömörödés következtében kialakuló gátszakadás.
- Pórusvíznyomás növekedés hatására kialakuló tönkremenetel a rézsűnek vagy altalajtörés.
- Gátvállak földrendés következtében kialakuló károsodása után bekövetkező hidraulikus talajtörés.
- Földrendés következtében a vízzáró funkció sérülése (vízzáró mag vagy vízzáró burkolat sérülése miatt kialakuló szivárgás-csurgás) miatt kialakuló talajtörés.

### SZEIZMIKUS RÉZSŰÁLLÉKONYSÁG

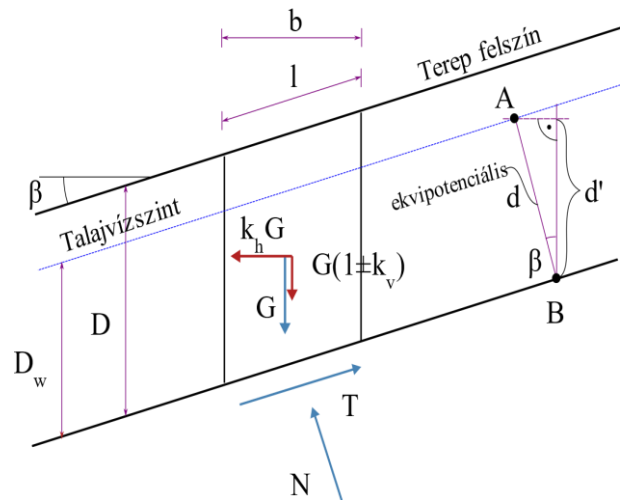
Statikus rézsűállékonyság vizsgálatokat évtizedek óta használnak, számtalan rézsű tönkremenetel játszódtott le, amivel a számított eredményeket össze lehet vetni. Az adatbázis, mely a szeizmikus méretezési módszerek kalibrálására szolgálhat, elenyésző. A szeizmikus hatások által gerjesztett összetett dinamikus igénybevételek és az azok következtében a töltésrézsűkben létrejövő feszültség-elmozdulás a jelenségek megértése szempontjából komoly háttér ismereteket igényel. A dokumentált esetek kis száma és a dinamikus válaszok összetettsége miatt, a méretezési módszerek nagyobb bizonytalansággal rendelkeznek. A leggyakrabban használt, szeizmikus rézsű állékonyság vizsgálatok:

- Koordináta-transzformáció, határ egyensúlyi állapot és biztonsági tényező.
- Pszeudo-statisztikus vizsgálat, körcsúszólap esetén, szeizmikus együttthatók meghatározása az Eurocode alapján.
- Newmark-módszer, földrengés gerjesztés hatására történő elmozdulások számítása.
- Numerikus vizsgálatok, a véges differencián alapuló módszer FDM és a végeses elemes módszer FEM.

### Koordináta transzformáció

Tekintsük át egy végtelen hosszú részsű egy véges  $l$  hosszú szakaszának határ egyensúlyi állapotát, amelyben a talajvízszint is párhuzamos a terepszinttel (1. ábra). A feladat eredeti megfogalmazásában az önsúly és a földrengés vízszintes erejének az erdője adta a koordináta transzformáció szögét, Ezzel a szöggel az 1. ábrát elforgatva mintegy meredekebb részsűre kellett az állékonysági feladatot megoldani.

Az önsúly, valamint a földrengésből keletkező vízszintes és függőleges erők erdője adja a hatást. Szemcsés talajban a végtelen hosszú részsű feltételezésével két komponens egyenlet írható fel a reakciók meghatározására, ahol a függőleges földrengési erő  $G(1 \pm k_v)$ , illetve a részsűre ható vízszintes földrengési erő  $G \cdot k_h$ .



1. ábra. Végtelen hosszú részsű, egyensúlyi állapotának vizsgálata  
Figure 1. Equilibrium analysis of an infinite slope

A részsűvel párhuzamos, illetve a részsűre merőleges erők adják a reakciókat ( $T$  és  $N$ ), ami 1. ábra alapján a következő:

$$\begin{aligned}(1 \pm k_v) \cdot G \cos \beta - k_h \cdot G \sin \beta &= N \\ (1 \pm k_v) \cdot G \sin \beta + k_h \cdot G \cos \beta &= T\end{aligned}$$

Ezekből az egyenletekből normál ( $\sigma$ ) és nyírófeszültséget ( $\tau$ ) számolunk az alábbiak szerint:

$$\begin{aligned}\sigma_n &= \frac{N}{l} = \frac{(1 \pm k_v) \cdot G \cos \beta - k_h \cdot G \sin \beta}{b / \cos \beta} = (1 \pm k_v) \cdot \gamma D \cos^2 \beta - k_h \cdot \gamma D \sin \beta \cos \beta \\ \tau_n &= \frac{T}{l} = \frac{(1 \pm k_v) \cdot G \sin \beta + k_h \cdot G \cos \beta}{b / \cos \beta} = k_h \cdot \gamma D \cos^2 \beta + (1 \pm k_v) \cdot G \sin \beta \cos \beta\end{aligned}$$

A biztonsági tényezőt ( $\gamma_s$ ) a Mohr-Coulomb törési feltétel segítségével számítjuk:

$$\gamma_s = \frac{\tau_f}{\tau_n} = \frac{c + (\sigma_n - u) \cdot \tan \varphi}{\tau_n} = \frac{c}{\gamma D \cos^2 \beta \cdot [k_h + (1 \pm k_v) \cdot \tan \beta]} + \frac{(1 \pm k_v) - k_h \tan \beta - r_u}{k_h + (1 \pm k_v) \tan \beta} \cdot \tan \varphi$$

ahol:

- $\tau_f$ , a tönkremenetelhez szükséges nyírófeszültség
- $\tau_n$ , a stabilizáló nyírófeszültség,
- $c$ , a részsű talajának kohéziója,
- $u$ , pórusvíznyomás,
- $k_v$ , a vertikális szeizmikus együtttható értéke,
- $k_h$ , a horizontális szeizmikus együtttható értéke,
- $\beta$ , részsűhajlás szöge,
- $\varphi$ , belső súrlódási szög,
- $r_u$ , pórusvíznyomási tényező.

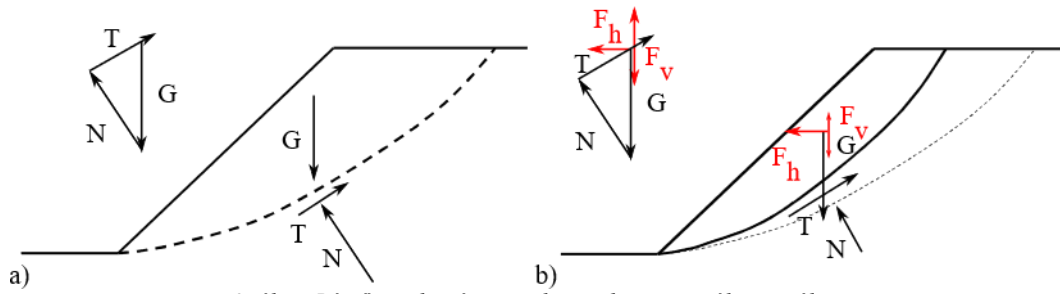
Az  $r_u$  tényező a B pontban meghatározott pórusvíznyomás és a teljes feszültség hányadosa, amelyet az alábbiak szerint lehet felírni, ahol  $D$  és  $D_w$  az 1. ábra szerinti értékek,  $\gamma$  és  $\gamma_w$  a fajsúlyok:

$$r_u = \frac{u_B}{\sigma_B} = \frac{\gamma_w \cdot D_w \cos^2 \beta}{\gamma \cdot D \cos^2 \beta} = \frac{\gamma_w \cdot D_w}{\gamma \cdot D}$$

### Pszeudo-statisztikus vizsgálat

A pszeudo-statisztikus módszer elterjedésében nagy szerepet játszott az, hogy könnyen számítható, elvégzése hasonló a statikus részsű stabilitás vizsgálatához és könnyen értelmezhető. A XX. század közepe óta az egyik legalapvetőbb módszer részsűk földrengéssel szembeni biztonságának megállapítására. A földrengés dinamikus hatását a potenciálisan elcsúszni akaró földtömeg súlypontjában ható pszeudo-statisztikus ( $F_h$  és  $F_v$  azaz horizontális és vertikális) erőkkel lehet figyelembe venni az Eurocode 8 szerint. A statikus és pszeudo-statisztikus részsűállékonyság összehasonlítása a 2a ábrán látható közelítőleg körcsúszólapok esetén, a zárt vektor poligonok a határ egyensúlyi állapotokat jelölik. A 2b ábrán megjelenő földrengés erők miatt a vektorok átrendeződése alakul ki, a határegyensúlyi állapot újbóli előállításához, ez csak úgy lehetséges, ha a csúszólap alakja és ezáltal az erők is változnak. A módszer kidolgozója Terzaghi (1950) volt.





2. ábra. Rézsű statikus és pseudo-statikus egyensúly vizsgálata  
Figure 2. Static and pseudo-static slope stability analysis

A biztonsági tényezőt úgy határozhatjuk meg kötött talajokban körcsúszólapot feltételezve, mint a potenciális csúszólap  $O$  középpontja körül ható stabilizáló és destabilizáló nyomatékok hányadosát. Kritikus csúszólapnak tekintjük mely esetében a legkisebb a biztonsági tényező. Egy példa a 3. ábrán látható. Az alábbi nyomatéki egyensúlyt lehet felírni az  $O$  pontba, az egyenlőség bal oldalán a destabilizáló, míg jobb oldalán a stabilizáló erők találha-

tók. Felhasználva a következő összefüggést:  $\tau = c_{u,m} = \frac{c_u}{\gamma_s}$ , ahol a nyírófeszültség egyenlő a mobilizált drénezetlen nyírószilárdsággal ( $c_{u,m}$ ), mely felírható mint a drénezetlen nyírószilárdság karakterisztikus értéke és a biztonsági tényező ( $\gamma_s$ ) hányadosa. Az integrálás elvégzésével és az említett képlet behelyettesítésével az egyenlet jobb oldala az alábbiak szerint alakul:

$$G \cdot d + k_h \cdot G \cdot e \pm k_v \cdot G \cdot d = \int_{\theta_0}^{\theta_h} \tau \cdot r \, ds = r \cdot \int_{\theta_0}^{\theta_h} c_{u,m} \cdot r \, d\theta = \frac{c_u}{\gamma_s} r^2 (\theta_h - \theta_0)$$

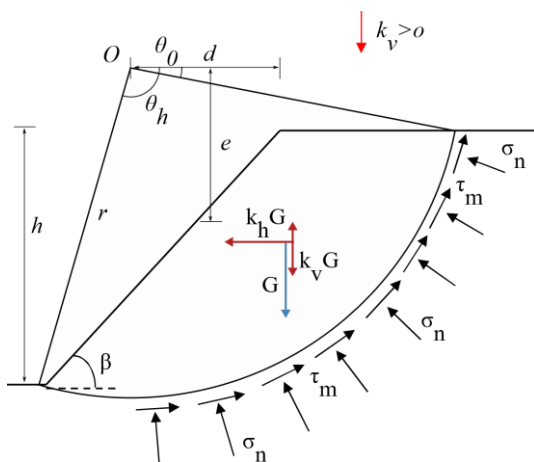
Az egyenletet átrendezve megkaphatjuk a biztonsági tényező értékét:

$$\gamma_s = \frac{c_u \cdot r^2 (\theta_h - \theta_0)}{G[(1 \pm k_v)d + k_h e]}$$

ahol a fontosabb paraméterek:

- $c_u$ , drénezetlen nyírószilárdság karakterisztikus értéke,
- $r$ , a körcsúszólap sugara,
- $h$ , a rézsű magassága
- $k_v$ , a vertikális szeizmikus együttható értéke,
- $k_h$ , a horizontális szeizmikus együttható értéke,
- $e$ , függőleges távolság a körcsúszólap középpontja és az elcsúszni akaró földtömeg súlypontja között,
- $d$ , vízszintes távolság a körcsúszólap középpontja és az elcsúszni akaró földtömeg súlypontja között.

A függőleges szeizmikus hatás irányát annak megfelelően kell megválasztani, hogy melyik a kedvezőtlenebb eset. Erre utal a  $\pm$  jel a függőleges szeizmikus együttható előtt (2.b. vagy 3. ábra).



3. ábra. Pseudo-statikus vizsgálat körcsúszólap feltételezése esetén  
Figure 3. Pseudo-static analysis in case of assuming circular slip surface

A pseudo-statikus vizsgálat kimenetelét nagyban befolyásolja a szeizmikus együttható értéke. A hazánkban is használatos Eurocode 1998-5:2004 (European Committee for Standardisation 2004) amennyiben az adott területre vonatkozóan nem készültek tanulmányok, az alábbiak szerint definiálja a horizontális ( $k_h$ ) szeizmikus együttható értékét:

$$k_h = \alpha \cdot \frac{S}{r}$$

ahol:

- $\alpha = a_g/g$ , az A típusú talajon vett tervezési talajgyorsulás ( $a_g$ ) és a gravitációs gyorsulás hányadosa,
- $S$ , a talaj paraméter az EN 1998-1:2004 alapján,
- $r$ , értékét az Eurocode 8 szabvány 7.1 táblázata alapján lehet meghatározni. Amennyiben telített, kohézió mentes talaj található, mely hajlamos a magas pórusvíznyomás kialakulása az  $r$  értéke nem lehet 1-nél nagyobb. A talaj megfolyósodással szemben megkövetelt biztonsági tényező pedig nem lehet kisebb, mint 2.

Amennyibe a függőleges tervezési talajgyorsulás ( $a_{vg}$ ) és az Eurocode szerinti A típusú talajon vett tervezési talajgyorsulás ( $a_g = \gamma_1 \cdot a_{g,R}$ , ahol:  $\gamma_1$  a fontossági tényező,  $a_{g,R}$  pedig a közetre vonatkoztatott tervezési talajgyorsulás) hányadosa nagyobb, mint 0,6 a vertikális szeizmikus együttható ( $k_v$ ) értékét az alábbiak szerint határozható meg:

$$k_v = \pm 0,5 \cdot k_h,$$

amennyiben a vizsgált hányados kisebb, mint 0,6:

$$k_v = \pm 0,33 \cdot k_h.$$

A szeizmikus együttható meghatározása az utóbbi évtizedekben sokat változott, így a módszer az esetleges bizonytalanságaival együtt is a biztonság javára téved. A

vízszintes földrengési együttthatót, mely segítségével a vízszintes erőt kapjuk, ezen értéket 0,05 és 0,15 között határozták meg az Egyesült Államokban még olyan földrengés veszélyes helyeken is, mint Kalifornia. Japánban sem voltak ezek az együttthatók magasabbak, mint 0,2. A mérnökök meg voltak győződve arról, hogy ezek az értékek elégségesek a rézsűállékonyság biztosításához annak ellenére, hogy nagyminta kísérletek hiányában kerültek megállapításra. Mérési adatok sem álltak rendelkezésre jelentősebb tönkremenetekről (back analysis), mivel nem voltak események, így dokumentálásra sem kerültek (Seed 1979).

Már Terzaghi (1950) is elismerte a pseudo-statisz mértezési módszer hiányosságait, a pórúsvíznyomás változást egyáltalán nem lehet figyelembe venni. Seed az 1979-es Rankine előadásában (Rankine Lecture) ezt több esettanulmánnyal alá is támasztotta, melyek közül a San Fernando gát vizsgálatát érdemes kiemelni.

A Felső és Alsó San Fernando gátak remek lehetőséget nyújtottak a pseudo-statisz közelítés alkalmazhatóságának vizsgálatára, mivel tönkremenetel közeli állapotba kerültek, azaz a biztonsági tényezők 1,0 körül alakultak. Korábban is voltak arra utaló jelek, hogy a pseudo-statisz módszerrel nem minden esetben jelezhető előre a rézsű tönkremenetel. A módszerrel elvégzett stabilitás vizsgálatokat a 4. és 5. ábrákon mutatjuk be Seed és társainak munkája (1975) alapján.

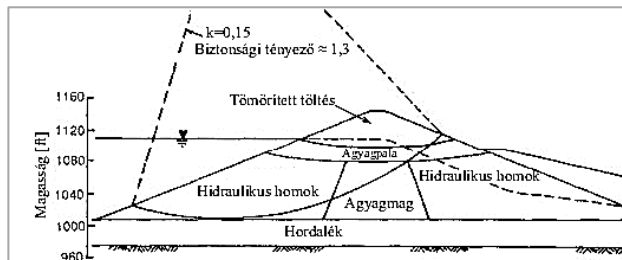
Az alsó San Fernando gát számított biztonsági tényezője 1,3 volt 0,15-ös szeizmikus együtttható esetén, ennek ellenére a felvízi oldal teljesen tönkrement. A Felső San Fernando gát keresztmetszete az 5. ábra látható, a pseudo-statisz módszerrel vizsgált kritikus csúszólappal együtt.

1. táblázat. Gátak pseudo-statisz vizsgálata és tönkremenetelük földrengés hatására  
Table 1. Pseudo-static analysis of dams with slope failures during earthquakes

Gát	Szeizmikus együtttható ( $k_h$ )	Számított biztonsági tényező	Földrengés hatása
Sheffield gát	0,10	1,2	Teljes tönkremenetel
Alsó San Fernando gát	0,15	1,3	Felvízi rézsű tönkremenetele
Felső San Fernando gát	0,15	$\approx 2,0-2,5$	Az alvízi oldal töltés teste 2 m-t süllyedt
Zagy gát (Japán)	0,2	$\approx 1,3$	Gátszakadás, zagy ömlés

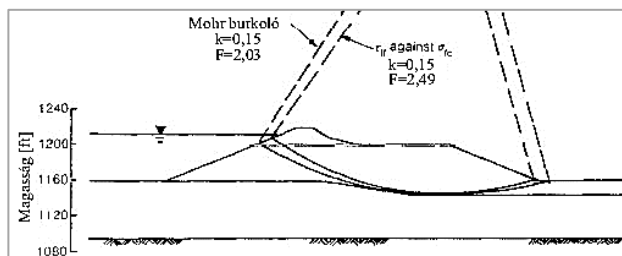
A kvázi-statisz körcsúszólap vizsgálat eredménye csak abban az esetben elfogadható, ha a gát és az altalaj ellenállását alapjaiban nem befolyásolják az időszakos ciklikus igénybevételek és pórúsvíznyomás növekedést nem okoznak. Az Eurocode, abban az esetben, ha a talaj telített és kohézió mentes a talaj megfolyósodásával szemben kettes biztonsági tényezőt követel meg. Az ICOLD, Bulletin 52 (1986) a pseudo-statisz vizsgálatot csak agyagok, illetve tömör homokok és kavicsok (80% fölötti relatív sűrűség) esetén ajánlja. A tömör telítetlen homokok esetén csak kicsi pórúsvíznyomás növekedés figyelhető meg. Ezzel szemben, az alacsony relatív sűrűségű, természetesen vagy hidraulikus úton terített homokokban, magas pórúsvíznyomás alakulhat ki. A tönkremenetel azon gátak esetén jelentkezett, ahol a pórúsvíznyomás jelentősen megemelkedett.

A szeizmikus együtttható ( $k_h$ ) értéke 0,15 a számított biztonsági tényezők erre a keresztmetszetre 2,0 és 2,5 között adódtak, ennek ellenére a töltés felső része 1,5-2,0 m-rel megcsúszott. Mindkét gát esetén a mozgások meghaladták az elfogadható értékeket, annak ellenére, hogy a kvázi-statisz számítási módszer szerint bőséges biztonsági tartalékkal rendelkeztek a földrengés hatásával szemben. A felsorolt esteket az 1. táblázat foglalja össze.



4. ábra. Az alsó San Fernando gát pseudo-statisz stabilitás vizsgálata

Figure 4. Pseudo-static analysis of embankment stability, Lower San Fernando Dam



5. ábra. A felső San Fernando gát pseudo-statisz stabilitás vizsgálata

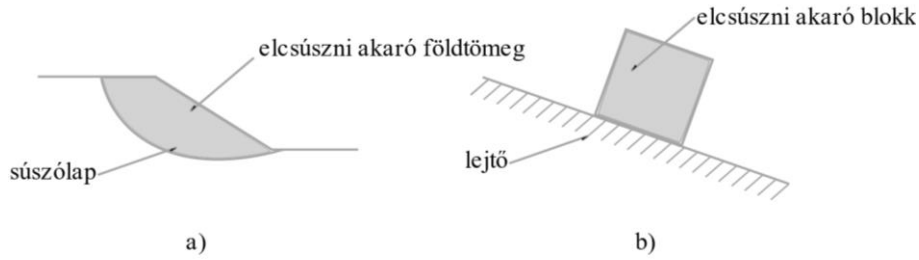
Figure 5. Pseudo-static analysis of embankment stability, Upper San Fernando Dam

### Newmark-módszer

A pseudo-statisz vizsgálat, mint minden egyensúlyi határállapoton alapuló vizsgálat nem ad információt az elmozdulásokról. Egy esetleges földrengés hatására bekövetkező deformációk ismerete nagyon fontos részsük esetén, hiszen ez ad tájékoztatást a használhatóságról. A földrengés gerjesztette gyorsulás időben változó így a valóságban a pseudo-statisz módszerrel számított biztonsági tényező értéke sem állandó. Az Eurocode esetén a maximális talajgyorsulás függvénye az így számított biztonsági tényező. Amennyiben a tehetetlenségi erők az elcsúszni akaró tömegen olyan nagyok lesznek, hogy ezen (statisz, illetve dinamikus) erők meghaladják az ellenálló erőket, tehát a biztonsági tényező 1,0 alá csökken, a rézsű elmozdul, Newmark (1965) az ilyen helyzetben lévő földtömegeket vizsgálta.

Amikor a biztonsági tényező 1,0 alá csökken az elcsúszni akaró földtömeg nincs többé egyensúlyban, a ki-egyensúlyozatlan erők hatására gyorsulni kezd. Newmark

egy lejtőn elhelyezkedő blokk analógiáját használta (6. ábra), hogy megmagyarázza az elcsúszni akaró földtömeg elmozdulásait (Kramer 1996).



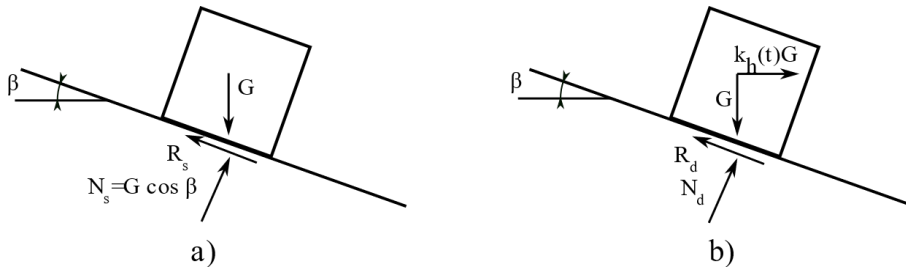
6. ábra. Párhuzam a lehetséges felszínmozgás és a lejtőn nyugvó blokk között  
Figure 6. Analogy between potential landslide and block resting on inclined surface

Egy elmozduló talajblokk statikus és dinamikus egyensúlyát az 7. ábra mutatja. Azzal a feltételezéssel élünk, hogy a blokk ellenállása csak súrlódás alapú

( $c=0$ ), ahol a  $\phi$  súrlódási szög a blokk és a lejtő között. A statikus biztonsági tényezőt az alábbiak szerint írhatjuk fel:

$$\gamma_s = \frac{\text{mozgással szembeni ellenállás}}{\text{csúsztató erő}} = \frac{G \cos \beta \cdot \tan \phi}{G \sin \beta} = \frac{\tan \phi}{\tan \beta}$$

Az eddig leírtak megegyeznek a végtelen hosszúnak feltételezett, homogén szemcsés rézsű infinitezimálisan kicsi elemének állékonyság vizsgálatával.



7. ábra. A lejtőn nyugvó blokkra ható erők statikus (a) és dinamikus (b) állapotban  
Figure 7. Forces acting on a block resting on an inclined plane, in static (a) and in dynamic (b) conditions

Amennyiben figyelembe vesszük a testre átadódó tehetetlenségi erőket, a vízszintes gyorsulást így írhatjuk fel:  $a_h(t) = k_h(t) \cdot g$ , a függőleges tehetetlenségi erőt az egyszerűség kedvéért elhanyagoljuk. Egy adott idő pillanatban a blokk  $k_h \cdot G$  vízszintes erő fog hatni, ennek a rézsűre

merőleges vetülete ( $G k_h(t) \sin \beta$ ) csökkenteni fogja a talaj tömegellenállását, míg a rézsűvel párhuzamos komponense ( $G k_h(t) \cos \beta$ ) növelni fogja a csúsztató erőt. A 7. ábra alapján a dinamikus biztonsági tényező az alábbiak szerint írható fel a  $G$ -vel történő egyszerűsítés után:

$$\gamma_d(t) = \frac{\text{mozgással szembeni ellenállás}}{\text{csúsztató erő}} = \frac{R_d(t)}{D_d(t)} = \frac{[\cos \beta - k_h(t) \sin \beta] \cdot \tan \phi}{\sin \beta + k_h(t) \cos \beta}$$

A  $k_h$  szeizmikus együttható, melyhez az 1,0 biztonsági tényező tartozik, tekintjük a folyási együtthatónak, ( $k_y$ , yield coefficient), ehhez tartozik az elcsúszási ( $a_y$ ), vagy kritikus gyorsulás ( $a_c$ ), amely a talajblokk elcsúszását okozza. A lefelé ható erő elcsúszási együtthatója és a kritikus gyorsulás az alábbiak szerint alakul:

$$k_y = \tan(\phi - \beta), \quad a_c = k_y \cdot g$$

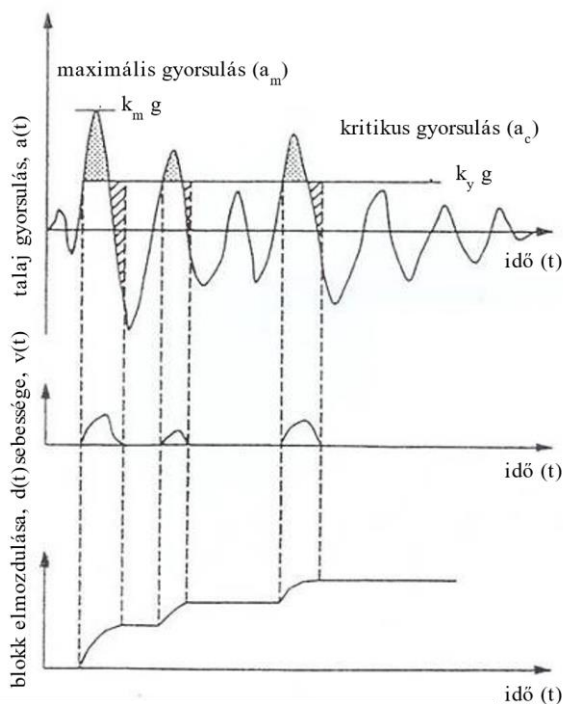
Amennyiben a gyorsulás meghaladja a kritikus értéket ( $a_c$ ), a rézsű megmozdul, miután a gyorsulás a kritikus érték alá csökken, az elcsúszni akaró blokk lassul majd megáll. Az elmozdulások összeadódnak a rézsű esetén, amennyiben lineárisan rugalmas, képlékeny anyagmodellt használunk. A relatív elmozdulásokat, úgy kaphatjuk meg, hogy a gyorsulás függvényét kétszer integráljuk. A folyamatot grafikusan a 8. ábra szemlélteti és az alábbi integrálegyenletek írják le:

$$v(t) = \int_{t_0}^{t_1} a(t) dt, \quad d(t) = \int_{t_0}^{t_1} v(t) dt$$

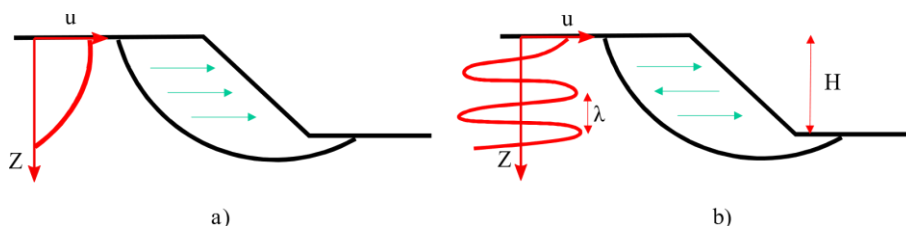
A Newmark-módszer pontossága a bemenő adatként szolgáló rengéstől függ. Az elcsúszni akaró tömegeket merevnek tételezzük fel. A valós rézsűk, azonban deformálódhatnak, dinamikus válaszuk függ a geometriájuktól és a merevségüktől. Amennyiben a rézsű nagyon merev talajból áll és/vagy alacsony frekvenciájú gerjesztésnek van kitéve (ezek nagy hullámhosszt eredményeznek) a vízszintes elmozdulások szinkronban lesznek és a merev test feltételezés helyesnek tekinthető (9. ábra). Ha azonban a talaj puha és/ vagy nagy frekvenciával gerjesztődik, vagyis a hullámhossz ( $\lambda$ ) jóval kisebb, mint a rézsű magassága, akkor fázisok eltérhetnek, azt eredményezve, hogy az elcsúszó tömeg különböző pontjain a szemcsék egymással el-

lentétes mozgást is végezhetnek (9. ábra). Ebben az esetben a tehetetlenségi erők jóval kisebbek lesznek, mint a merev test (merev blokk) feltételezése esetén (Kramer 1996).

A Newmark-módszer egy adott hely gyorsulás-idő adatsorát tekinti kiindulási adatnak, ez sokszor nem áll rendelkezésre, így a tervezés során ez az eljárás korlátozottan használható.



8. ábra. Rézsű mozgás halmozódása  
Figure 8. Development of permanent slope displacement



9. ábra. A frekvencia hatása a rézsűn gerjesztett mozgásra (Kramer 1996)  
Figure 9. Influence of frequency on motions induced in slopes (Kramer 1996)

## NUMERIKUS VIZSGÁLATOK

A komplex szerkezettervezési és geotechnikai problémák numerikus módszerekkel történő megoldása az előző két évtizedben fejlődött. Gátak numerikus földrengés vizsgálatára leggyakrabban

- a véges differencián alapuló módszert FDM és
- a végeselemes módszert FEM használják.

Andrianopoulos és társai (2014) FDM módszerrel végeztek paraméter vizsgálatot FLAC véges differencián alapuló szoftverrel. Az elcsúszó földtömeget határozták meg különböző gerjesztések és eltérő gát geometriák esetén. Görög földrengések gyorsulás-idő diagramjait használták gerjesztésként a vizsgált gát magasságok pedig 20 m, 40 m, 80 m, és 120 m voltak. A számításnál több fajta rézsűhajlást alkalmaztak, de mindegyik gát agyagmagos volt. A talajok mechanikai viselkedését nem-lineáris hiszterézist alkalmazó anyag modellel írták, le amit az említett szoftverbe implementáltak.

Az elkészített modelleket Vucetic és Dobry (1991) által meghatározott kísérleti eredményeket alapul véve kalibrál-

ták, a nyírási modulus degradációját jellemző leromlási görbe ( $G/G_{max}$ ) és a hiszterézis csillapítási tényező ( $\xi$ ) növekedését leíró csillapítási függvény ciklikus nyírási alakváltozás függvényében való ábrázolásával.

A kutatás alapvető célja a szeizmikus együttható meghatározására irányuló görbék pontosítása volt. Az egyik fontos megállapításuk, hogy a szeizmikus együttható jobban korrelál a koronán jelentkező felszíni gyorsulással ( $PGA_{korona}$ ), mint a terepszintű gyorsulással ( $PGA$ ).

A Fujinuma gát tönkremenetelének megértéséhez a kezdődő repedések megjelenési helyének azonosításához és a pórusvíznyomás növekedésének nyomon követéséhez Plaxis 2D szoftverben készült végeselemes modellel használták Charatpangoon és társai 2014-ben.

## TERVEZÉSI ELJÁRÁSOK ÖSSZEFOGLALÁSA

Állandóan vizet tartó, az ICOLD szerinti nagygátak kategóriába sorolt gátak közül a kisebbeknél (melyek Magyarországon is elérhető mérettartományt jelentenek maximálisan 25-30 méteres magassággal), az alábbi



táblázat a nagy gátak földrengés méretezési eljárásait foglalja össze. Fontos hangsúlyozni a hazai viszonyokat, ugyanis Magyarország nem tartozik a szeizmikusan aktív területek közé. Alacsony magnitúdójú földrengések esetén az általánosan alkalmazott biztonsági tényező megfelelő biztonságot ad a földrengés hatása ellen, vagyis nem jelentkezik feladatként a földrengésre történő tervezés.

Manapság az a tendencia, hogy a véges elemes programok terjedése kiszorítja az egyszerű numerikus módszereket. Így a koordináta-transzformáció, a pszeudo-statisztikus számítás és Newmark-módszer felett eljárt az idő. Azonban a végeselemes számítás jobb minőségű és mennyiségű talajvizsgálattal kell kiszolgálni, meg kell határozni a dinamikus talajjellemzőket is. Ennek ellenére már a javasolhatónál alacsonyabb magnitúdó (vagy gyorsulás) esetén is alkalmazzák.

2. táblázat. Alacsony gátak tervezése földrengés hatásra (Gyorsulás adatok Gutenberg és Richter, 1956 alapján)  
Table 2. Small-dams design for earthquake action (Acceleration data from Gutenberg and Richter 1956)

Magnitúdó	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.
Gyorsulás (m/s <sup>2</sup> )		0,01	0,03	0,12	0,5	1,5	5	8	> 10	
Tervezési módszer	Nincs külön feladat			Koordináta-transzformáció		Végeselemes modellezés				
				Pszeudo-statisztikus számítás		Rázóasztal + modellkísérlet				
				Newmark-módszer						

## ÖSSZEFOGLALÁS

A földrengés méretezés a XX. század közepe óta rengeteget fejlődött, új módszerek jelentek meg, amelyek háttérbe szorították a pszeudo-statisztikus vizsgálatot, de a szabványokban ez a módszer továbbra is szerepel. A földrengési együtthatók meghatározása pontosabb lett az évek során. Az Eurocode az adott talaj válaszspektrumának maximális gyorsulás értékét figyelembe véve határozza meg a földrengési együtthatókat. A kvázi-statisztikus módszer esetén tisztában kell lennünk azzal, hogy ha a töltés talajában megnövekedhet-e a pórusvíznyomás, akkor nagyobb biztonsági tényezővel kell rendelkeznie a rézsűnek.

A Newmark-módszerrel a rézsűknek földrengés hatására várható elmozdulásai határozhatók meg. A módszer alkalmazásához elengedhetetlen a várható földrengések gyorsulás-idősorának ismerete. Amennyiben nem állnak rendelkezésünkre adatsorok az adott területen várható földrengésekről az alábbi megoldások alkalmazhatóak: (i) Felveszünk egy adatsort, ami műszaki ismereteink alapján valóságos lehet. (ii) Közelebbi másik földrengés accelerogramját használjuk. (iii) Távoli hasonló földrengés gyorsulás-idősorával dolgozunk.

A véges differencián FDM vagy véges elemes FDM módszeren alapuló számítások segítségével meghatározható a gátak dinamikus válasza az esetlegesen megjelenő repedések helyei, ahol a húzási feszültségek meghaladják a talaj húzási ellenállását. Egyidejűleg nyomon követhető a pórusvíznyomás változása is a rengés során.

Kétségtelen, hogy a műszaki elvek betartásával jól megépített gátaknak nem csak a statikus igénybevételekkel, de a dinamikus igénybevételekkel szembeni ellenállása is megfelelő lehet. A laza, nem megfelelően tömörített gátaknál (a San Fernando gát hidraulikus feltöltése, vagy a zagygátak) laza agyaga kisebb ellenállást jelent a dinamikus hatásokkal szemben. Ezt bizonyítja a zagygátak tönkremenetelnél a magas törési hányad földrengés következtében. Azonban a megfolyósodás csak egyike a földrengés következtében kialakulható tönkremeneteli mechanizmusoknak, ami a CPT vizsgálatok következtében numerikusan is sokat fejlődött az utóbbi két évtizedben.

Kétségtelen, hogy a korábbi tervezői ismeretek, az előző negyven évben felhalmozódott tudás is szerepet játszik abban, hogy a nagygátak földrengés állékonysága jónak mondható. Különösen a kőszórás gátak földrengés állékonysága jó, annak ellenére, hogy a rézsűk hajlása is meredek. Magyarországi földrengés veszélyesség mellett és hazai 25-30 méteres gátmagasságoknál kielégítően alkalmazhatóak a bemutatott egyszerű számítási eljárások, amelyeket jelen közleményben áttekintettünk. Manapság a fejlett végeselemes programok segítenek a földrengés hatására történő méretezésnél, mint a legjobb jelenleg elérhető módszer.

Magasabb gátak és nagyobb szeizmicitás esetére rázóasztalos kísérlet és végeselemes programok azok, amelyek lehetővé teszik a szükséges vizsgálatok elvégzését. Ezek a vizsgálatok mutattak rá arra, hogy földrengés hatására a legnagyobb igénybevételek a koronán és a korona közelében jelentkeznek. Azonban ezek a jelenleg pontosnak tartott vizsgálatok sem jelentenek sok segítséget, ha például aktív vetőre helyezik a gátat.

## IRODALOMJEGYZÉK

- Andrianopoulos K.I., Papadimitriou A.G., Bouckovalas G.D. és Karamitros D.K. (2014). Insight into the seismic response of earth dams with an emphasis on seismic coefficient estimation. *Computers and Geotechnics*, 195–210. doi:10.1016/j.compgeo.2013.09.005.
- Charatpangoon B., Kiyono J., Furukawa A. és Hansapinyo C. (2014). Dynamic analysis of earth dam damaged by the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 50–62. doi:10.1016/j.soildyn.2014.05.002.
- European Committee for Standardisation (2004). *Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 5: Foundations, retaining structures and geotechnical aspects*.
- Gutenberg B. és Richter C.F. (1956). Earthquake magnitude, intensity, energy, and acceleration: (Second paper). *Bulletin of the Seismological Society of America*, 2. 105–145.
- ICOLD (1986). *Earthquake analysis for dams*. No. 52.

Kramer S. L. (1996). *Geotechnical Earthquake Engineering*. Prentice–Hall, Inc.,

Nagy L. (2012). Történelmi zagygátszakadások. *Hidrológiai Közlöny*, 92. évf. 2. szám. 70–72.

Ono K., Kazama S., Kawagoe S., Yokoo Y. és Gunawardhana L. (2011). Possible earthen dam failure mechanisms of Fujinuma reservoir due to the Great East Japan Earthquake of 2011. *Hydrological Research Letters*, 69–72. doi:10.3178/hrl.5.69.

Seed H. B. (1979). Considerations in the earthquake-resistant design of earth and rockfill dams. *Géotechnique*, 3. 215–263. doi:10.1680/geot.1979.29.3.215.

Seed H. B., Idriss I. M., Lee K. L. és Makdisi F. I. (1975). Dynamic analysis of the slide in the Lower San

Fernando Dam during the earthquake of February 9, 1971. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 7. 651–688.

Shimazaki K. és Somerville P. (1979). Static and dynamic parameters of the Izu-Oshima, Japan earthquake of January 14, 1978. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 5. 1343–1378.

Terzaghi K. (1950). Mechanism of Landslides In: Paige Sidney (szerk.). *Application of Geology to Engineering Practice*. Geological Society of America, New York, N. Y. 83–123. doi:10.1130/Berkey.1950.83.

Vucetic M. és Dobry R. (1991). Effect of Soil Plasticity on Cyclic Response. *Journal of Geotechnical Engineering*, 1. 89–107. doi:10.1061/(ASCE)0733-9410(1991)117:1(89).

## A SZERZŐK



**NAGY LÁSZLÓ** 1956-ban született Nyíregyházán, iskoláit Debrecenben végezte. Első diplomáját 1980-ban szerezte a Budapesti Műszaki Egyetem Építőmérnöki Karán. Ugyanott 1984-ben szakmérnöki államvizsgát tett. Munkahelyei a vízügyi szakterülethez kapcsolódtak: Vízügyi Tervező Vállalat, Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Központ, Árvízvédelmi és Belvízvédelmi Központi Szervezet, Országos Vízügyi Főigazgatóság. 2003 óta a Műegyetemen oktat, kutat. 2006-ban megvédte PhD disszertációját, kilenc évvel később habilitált. 2015-ben a geotechnika és az árvízvédelem határterületén végzett munkásságáért a Magyar Köztársaság Érdemrend Lovagkereszt kitüntetését kapta. A Magyar Hidrológiai Társaság tagja. 2016 májusától a Hidrológiai Közlöny egyik szakszerkesztője.



**ILLÉS ZSOMBOR** 1993-ban született Budapesten. Gimnáziumi tanulmányait Budapesten és Glasgow-ban végezte. 2012-ben nyert felvételt a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőmérnöki Karára, ahol 2018-ban szerkezet-építőmérnök szakirányon szerzett MSc diplomát. MSc tanulmányai alatt Campus Mundi Ösztöndíjjal egy évet az Instituto Superior Técnico-n (IST, Técnico Lisboa) töltött. 2018 óta a Vásárhelyi Pál Doktori Iskola hallgatója, ahol témavezetője Dr. Nagy László. Fő kutatási területe a talajok térfogatváltozása és ehhez kapcsolódóan az árvízvédelmi töltések repedései.

## Nagy folyók lebegtetett hordalékvándorlásának új vizsgálati módszerei 1. – A továbbfejlesztett hordalékmonitoring módszertan bemutatása

Pomázi Flóra<sup>1</sup>, Baranya Sándor<sup>1</sup>, Török Gergely Tihamér<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3. (pomazi.flora@epito.bme.hu, baranya.sandor@epito.bme.hu)

<sup>2</sup> Vízgazdálkodási Kutatócsoport, Eötvös Loránd Kutatási Hálózat, 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3.

### Kivonat

A közelmúltban mindinkább előtérbe került a hordalékvándorlás monitoringjának szerepe a vízmérnöki, sőt akár multidiszciplináris problémák vizsgálatában, a hozzájuk kapcsolódó projektekben meghatározott feladatok megoldásában. Elsődlegesen az a fontos, hogy a lebegtetett hordalékvándorlás jelenségét térben és időben is megfelelő felbontásban lehessen vizsgálni, mivel a hordalékvándorlás egy dinamikus folyamat. Ebben a cikkben javaslatot teszünk egy új, korszerű mérési módszereken alapuló lebegtetett hordalékmonitoring eljárásra, amely költséghatékony módon, és a jelenleg hazánkban alkalmazott eljárásokhoz képest nagyobb információtartalommal ad képet folyók lebegtetett hordalékjárásáról. A bemutatásra kerülő koncepcionális elképzelés egy integrált megközelítést ajánl, amelynek két fő eleme van a terepi adatgyűjtés tekintetében: 1) part menti, folyamatosan működő mérőrendszer kialakítása biztosítaná a hordalékvándorlás időbeli változékonyságának folyamatos feltárását, amit 2) kiegészítő expedíciós mérésekkel szükséges kalibrálni. A folyamatos mérés szignifikáns előrelépést jelentene a jelenleg alkalmazott hazai előírással szemben, amely során évente öt, előre meghatározott alkalommal történik lebegtetett hordalékmérés. A folyamatos mérést illető javaslat bemutatása után a cikk áttekintést nyújt a mintavételi, illetve a terepi és laboratóriumi, direkt és indirekt hordalékmérési eljárások alkalmazási lehetőségeiről, előnyeiről és hátrányairól. Végül kitérünk arra is, hogy a bemutatott hordalékmérési eljárások alapján milyen lehetőségek adóttak a lebegtetett hordalékhozam meghatározására. Az új vizsgálati módszerrel a nagy folyók lebegtetett hordalékvándorlásának tér- és időbeli felbontása jelentősen növelhető, a monitoring rendszer részletgazdag információkkal szolgálhatna a folyók hordalékjárásához kapcsolódó feladatok kiszolgálására, s a hordalékmérések időigénye (terepi mérések, laboratóriumi elemzés, stb.) is jelentősen csökkenne.

### Kulcsszavak

Lebegtetett hordalékmonitoring, közvetlen mérési módszerek, közvetett mérési módszerek, hordalékelemzés, nagy folyó.

## New investigation methods of suspended sediment transport in large rivers 1. – Introduction of an improved sediment monitoring method

### Abstract

The role of sediment transport monitoring has become more and more important in investigating water engineering and even multidisciplinary problems, and in solving the tasks defined in related projects. Sediment transport is a dynamic process, therefore an appropriate spatial and temporal resolution is required when studying sediment transport phenomena. In this article, we propose a new suspended sediment monitoring method based on state-of-the-art measurement methods that provides a more cost-effective approach with increased information content. The concept presented here proposes an integrated approach with two main elements for field data collection: 1) the development of a near-bank monitoring system would provide continuous detection of temporal variability in sediment transport, 2) which would require calibration by additional expeditionary measurements. The continuous measurement would represent a significant improvement over the currently applied standard, whereby suspended sediment measurements are carried out five times a year. After presenting the proposal for continuous measurement, the article provides an overview of the opportunities, advantages, and limitations of field measurements and laboratory analysis, direct and indirect sediment measurement methods. Finally, we discuss the determination of the suspended sediment load from the different measurement techniques. With the new monitoring method, the spatial and temporal resolution of the suspended sediment transport of large rivers can be significantly increased, the monitoring system could provide detailed information for hydromorphology-related river management tasks, and the time requirements of sediment measurement (field measurements, laboratory analysis, etc.) would also be reduced.

### Keywords

Suspended sediment monitoring, direct measurement methods, indirect measurement methods, sediment analysis, large river.

### BEVEZETÉS

A folyók által szállított hordalék mennyiségi jellemzői fontos szerepet játszanak a folyómeder természetes alakváltozási folyamataiban, a folyó menti élőhelyek minőségében és számos a folyógazdálkodáshoz kapcsolódó emberi tevékenységben. A hordalék mederből való felkeveredése pl. a meder mélyülését okozza, ami ha tartósan fennáll, a kisvízszintek csökkenését vonhatja maga után és ezzel a folyó menti talajvízszintek is csökkenhetnek, megváltoztatva az esetleges vízkitermelés feltételeit. A főme-

der eróziója a folyóhoz kapcsolódó mellékágak és hullámterek vízellátását is megváltoztatja, ami akár mellékágak, ágrendszerek lefűződéséhez is vezethet. A folyóban szállított finom szemösszetételű (iszap, finom homok), jellemzően lebegtetett formában utazó hordalék lerakódása a mellékágakban az élőhely minőségének romlását okozhatja, a főmederben való lerakódása parti szűrősű vízbázisok működésére hathat ki, a hullámtéren való kiülepedés pedig az árvízi vízszállítást változtatja meg. A folyóban vándorló hordalék mennyiségének, hosszmenti és időbeli

alakulásának ismerete nagyban hozzájárulna az előző problémák feltárásához és azok kezeléséhez, de a hazai vízügyi ágazatban jelenleg alkalmazott hordalékvizsgálati módszerek sajnos nem, vagy csak nagyon korlátozott mértékben teszik ezt lehetővé.

A hazai lebegtetett hordalékmérést jelenleg a ME 10-231-20:2009 *Felszíni vizek lebegtetett hordalékának mérése szivattyús vízmintavevővel* c. műszaki előírás szabályozza. Ennek megfelelően a nagyobb vízfolyásokban alapvetően évente 5-10 előre meghatározott alkalommal történik vízmintavétel, amely korántsem teszi lehetővé a lebegtetett hordaléktranszport monitoringját (folyamatos követését). A szivattyús mintavevő használata összetett, a mintavételt követő laboratóriumi elemzés során alkalmazott, ún. evaporációs módszer pedig hosszadalmas, s pontossága bizonytalan.

Ebben a cikkben javaslatot teszünk egy új, korszerű mérési módszereken alapuló lebegtetett hordalékmonitoring eljárásra, amely költséghatékony módon, és a jelenleg alkalmazott eljárásokhoz képest nagyobb információtartalommal ad képet folyók lebegtetett hordalékjárásáról. A mérőrendszerben optikai és akusztikus elven működő, tehát indirekt eszközöket alkalmazunk, de kalibráló mérésekben helyet kapnak a direkt fizikai vízmintavételek is. A következőkben bemutatjuk a javasolt monitoring módszer működési vázlatát, majd az abban szereplő egyes mérési eljárások hátterét ismertetjük. Kitérünk a vízminták laboratóriumi elemzési módjára is és arra, hogy a folyószelvényen átvándorló hordalék mennyiségét milyen módon javasoljuk meghatározni.

A cikkhez szorosan kapcsolódik egy azonos főcímű következő cikk is, amiben a monitoring eljárásba bevont indirekt mérési eljárások részletes, nagy mintán alapuló teszteléseinek eredményeit tárgyaljuk, amit a haza Dunán hajtottunk végre. Abban a cikkben a tesztmérések eredményeképpen az indirekt hordalékmérési eljárások alkalmazási korlátait is feltárjuk és a mérésektől elvárható pontosságra is javaslatot teszünk.

## A LEBEGTETETT HORDALÉK FOLYAMATOS MÉRÉSÉRE SZOLGÁLÓ RENDSZER KIÉPÍTÉSÉRE VONATKOZÓ JAVASLAT

A közelmúltban mindinkább előtérbe került a hordalék-vándorlás monitoringjának szerepe a vízmérnöki, sőt akár multidiszciplináris problémák vizsgálatában, a hozzájuk kapcsolódó projekteknél meghatározott feladatok megoldásában. Elsődlegesen az a fontos, hogy a lebegtetett hordalék-vándorlás jelenségét térben és időben is megfelelő felbontásban lehessen vizsgálni, mivel a hordalék-vándorlás egy dinamikus folyamat. Enélkül nehezen ismerhetők meg a folyómederben lejátszódó hidromorfológiai folyamatok, nehezen fedezhetők fel trendek, s maga a hordalékmérleg felállítása is bizonytalan, ha a nagy folyók mentén nem működik összehangolt monitoring rendszer. A nemzeti, nemzetközi együttműködéshez azonban szükséges, hogy a vizsgálati módszer lehetőleg könnyen adaptálható legyen, megvalósítása és működtetése egyszerű legyen.

Folyók lebegtetett hordalék-vándorlásának megbízható elemzéséhez az alábbi jellemzők vizsgálata szükséges:

- lebegtetett hordalék töménység (*Suspended Sediment Concentration – SSC*) (mg/l)
- lebegtetett hordalékhozam (kg/s)
- éves lebegtetett hordalékterhelés (Mt),
- térbeli-időbeli változékonyság,
- szemösszetétel (*Particle Size Distribution – PSD*),
- jellemző szemcseméretetek.

A következőkben bemutatásra kerülő koncepcionális elképzelés egy integrált megközelítést (*1. ábra*) ajánl, amelynek két fő eleme van a terepi adatgyűjtés tekintetében: 1) part menti, folyamatosan működő mérőrendszer kialakítása biztosítaná a hordalék-vándorlás időbeli változékonyságának folyamatos feltárását, amit 2) kiegészítő expedíciós mérésekkel szükséges kalibrálni. Utóbbi a monitoring állomás teljes keresztaszvénnyére kiterjed, ami alapján a hordaléktöménység szelvény menti változékonysága is feltárható és elegendően nagyszámú mérés esetén felállítható egy kapcsolat a part mentén mért töménység értékek és a szelvényen átáramló hordalékhozam között. A javaslatunk részét képezte egy, a közelmúltban lezárult nemzetközi projektnek is, amely a Duna hordalékvizsgálatát tűzte ki célul és egy kézikönyv is született a jó hordalék-mérési gyakorlatra (*DanubeSediment 2019*).

### Folyamatos part menti mérés

A folyamatosan működő mérőrendszer helyét úgy kell megválasztani, hogy az év során lehetőleg végig szolgáltatasson adatokat (vagyis folyamatosan víz alatt legyen), valamint hogy az értékeket a folyó adott szakaszára reprezentatívnak lehessen tekinteni. Nagy folyók esetén a lebegtetett hordalékjárás térbeli változékonyságának optimalisan összehangolt monitoringjához elengedhetetlen, hogy monitoring állomás legyen kiépítve minden szakaszon, ahol például bővül a meder, változik a mederesedés, mellékfolyó torkollik be, vízszintszabályozó műtárgy található, vagy egyéb hidromorfológiai változás történik. Több szervezet együttműködése esetén szervezeti, közgazdasági határok mentén (pl. határszakaszon, szomszédos Vízügyi Igazgatóságok határán) is célszerű létrehozni egy-egy monitoring állomást. Fontos az is, hogy könnyen meg lehessen közelíteni.

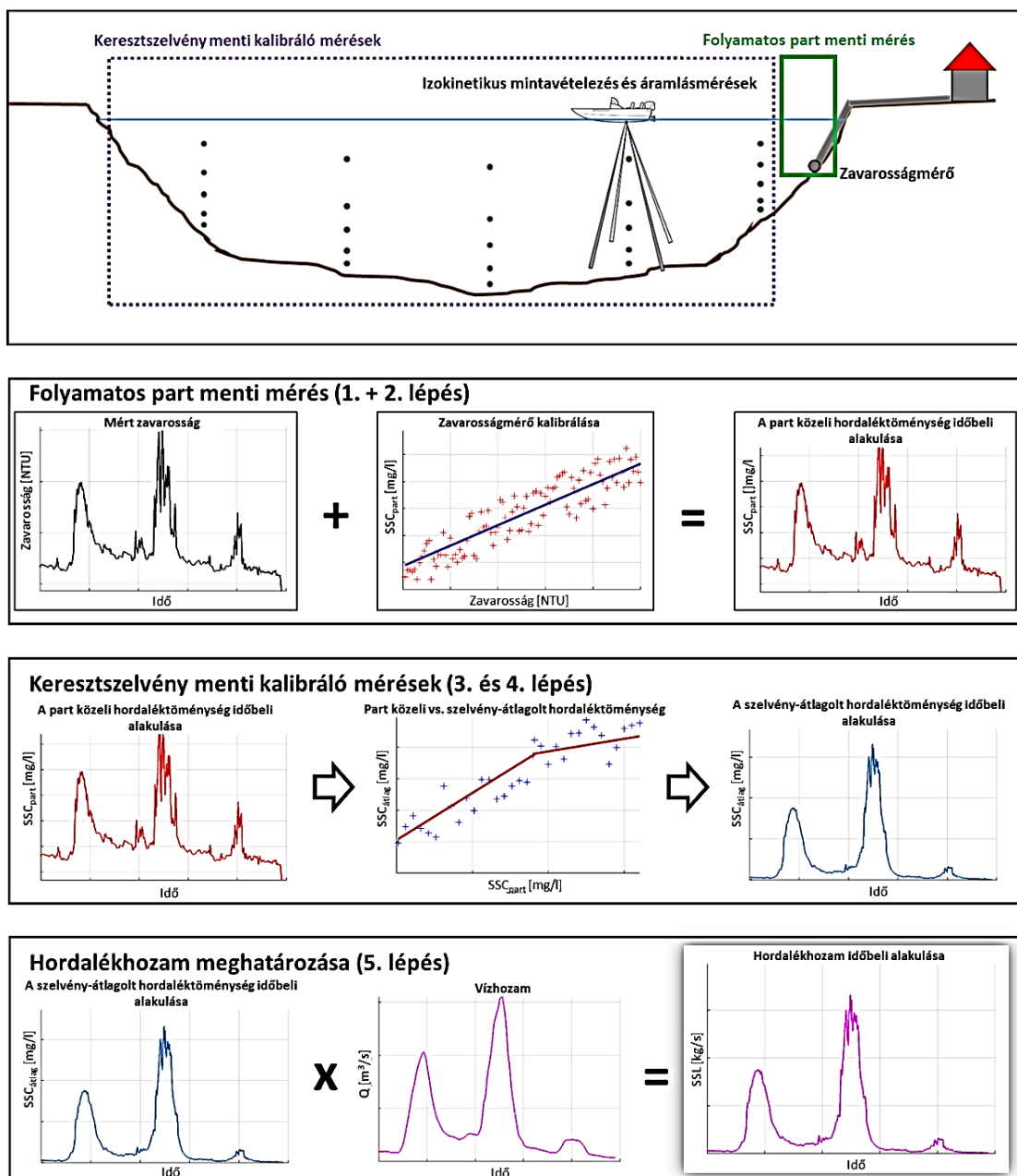
A part menti mérőrendszer jellemzően egy vízmérce mellett, esetleg pontonon rögzített zavarosságmérő szonda és az azt támogató infrastruktúra kihelyezését jelenti. Ahogy az a későbbiekben részletezésre kerül, a zavarosságmérő szondák egy pontban határozzák meg a víz zavarosságát, amelyből kalibráció útján származtatható a pontbeli lebegtetett hordaléktöménység.

A zavarosság a víz optikai tulajdonságait jellemző érték, amely főként a lebegőanyagok mennyiségétől függ, így alkalmas arra, hogy a lebegtetett hordalék-vándorlásban mennyiségi, illetve minőségi trendeket detektáljon (*Haimann és társai 2014a*). Korábbi tanulmányokban (pl. *Nagy 2013, Kutai 2014*) már bebizonyosodott, hogy a rögzített zavarosságmérő műszerekkel kiválóan vizsgálható például az, hogy árhullám levonulásakor a zavarosság/hordaléktöménység hogyan követi a vízállás változását vagy, hogy az áradó vagy az apadó ágban érzékel-e fajlagosan több lebegtetett hordalék, de a folyamatosan üzemelő zavarosságmérő adatai alapján az éves hiszterézis is lekövethető. A *2. ábra* egy a BME Vízépítési és



Vízgazdálkodási Tanszéke által, a szerzők közreműködésével végrehajtott 2014. évi mérőssorozat eredményei láthatók, amely során egy part közelében elhelyezett, RCM-9 (pl.: <https://epic.awi.de/id/eprint/45145/1/RCM9.pdf>) elnevezésű optikai elven működő zavarosságmérő rögzítette a zavarosságot. A műszer kalibrálása a műszer fejéhez közeli pontban vett vízminták laboratóriumi elemzése (filtráció) alapján történt. Az erős kapcsolat ( $R^2 = 0.91$ ; Kutai

2014) alapján kalibrált folytonos idősorra jól illeszkednek a mért értékek. A vízhozam idősorral ábrázolva megfigyelhető, hogy a folyamatosan működő zavarosságmérő eredménye jól követi a vízhozam alakulását, részletes képet szolgáltatva a hordaléktöménység alakulásáról. Fontos megjegyezni, hogy markáns hurokgörbék esetén a zavarosságmérő által szolgáltatott adat és a vízhozam között gyengébb kapcsolat tapasztalható.



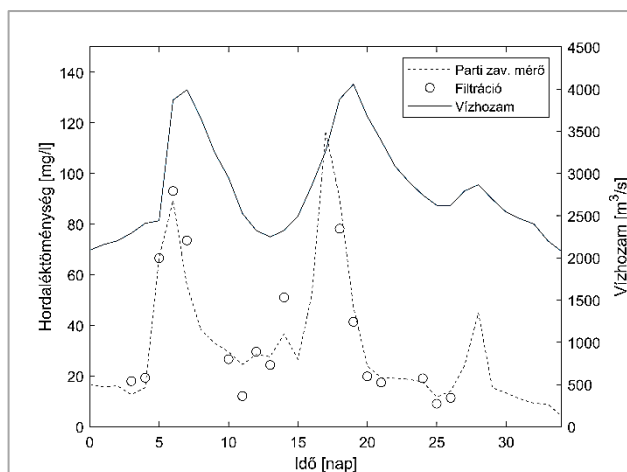
1. ábra. A lebegtetett hordalékmonitoring koncepcionális elképzelése (DanubeSediment 2019 alapján)

Figure 1. Concept of suspended sediment monitoring (after DanubeSediment 2019)

A térbeli reprezentativitás érdekében a rögzített zavarosságmérő helyének megválasztásakor érdemes figyelembe venni, hogy az adott pontban megjelennek-e a szelvény menti változások, valóban kiterjeszthető-e a pontbeli parti érték a teljes szelvényre. A parti és szelvény menti átlag-hordaléktöménység közti kapcsolat vizsgálata alapján a kapcsolat megbízhatósága a vízhozam növekedésével csökken, korrekcióra szorul

(Haimann és társai 2014a). A műszer mérési mélységét illetően érdemes tisztában lenni azzal, hogy milyen tartományban mozog a vízállás a szelvényben – ne kerüljön szárazra az év nagy részében, de ne is legyen olyan mélyen, ahol már nem érvényesülnek a változások. Fontos az is, hogy a megválasztott szelvény is kellően reprezentatív legyen a monitoring állomáshoz tartozó szakasz tekintetében.

A mérőállomás létesítése és fenntartása, üzemeltetése további szempontokat vet fel úgy, mint: a vagyonvédelem, a műszer tisztítása (pl. algásodás kezelése vagy fennakadt uszadék eltávolítása), az áramellátás biztosítása (pl. nap-elem vagy akkumulátor), az adatrögzítés és -továbbítás megoldása (pl. adatkábel vagy wifi), a rögzített adatok feldolgozásának időigénye, az adatok integrálása – és egyéb gyakorlati megfontolások. Ezeket a kérdéseket jelen cikk nem tárgyalja, de fontosnak tartjuk megjegyezni, hogy a hazai vízrajzi monitoring állomások felszereltsége a hordalékmérők telepítéséhez szükséges feltételek jelentős részét már kielégítik, így a lebegtetett hordalék folyamatos mérésére szolgáló mérőrendszer meglévő mérőállomásokon alacsonyabb költséggel kiépíthető, mint újonnan kialakítandó állomások esetén. Érdeemesnek tartjuk azt is megemlíteni, hogy egy, a cikkben ismertetett monitoring eljárás szerinti mérőállomás kialakítása zajlik jelenleg a Duna gönyűi szelvényében a SEDDON II elnevezésű Ausztria-Magyarország határon átnyúló együttműködési program keretében (több információ: <https://www.interreg-athu.eu/hu/seddon2/>).



2. ábra. Hosszú idejű, folytonos zavarosság-mérés összehasonlítása hagyományos elemzésből származó, pontbeli értékekkel (Kutai 2014 alapján saját szerkesztés)

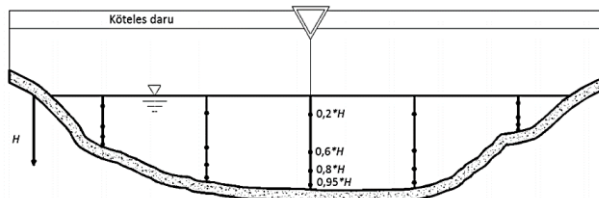
Figure 2. Comparison of continuous turbidity measurement and direct point-measurements (based on Kutai 2014)

### Expedíciós kiegészítő mérések

Ahhoz, hogy a parti műszer által mért és rögzített adatok a teljes szelvényre kiterjeszthetők legyenek, kiegészítő expedíciós szelvény menti méréseket kell végezni. A két mérés eredményeit összekapcsolva a monitoring rendszer kalibrálható, amit a működése során ismételt mérésekkel szükséges felülvizsgálni. A szelvény menti mérésekre a többpontos mintavételi módszert javasoljuk, amit a hazai gyakorlatban már alkalmaznak.

A szelvény menti mérések során a mintavételi pontokat mindig úgy kell megválasztani, hogy a kiosztással megfelelően le lehessen írni a hordaléktöménység térbeli (függély illetve szelvény menti) változását. Ez biztosítja a szelvény menti hordalékhozam minél pontosabb meghatározását. A nedvesített szelvény szélességét 5-10 egyenlő részre kell osztani, a mérési függvényeket ezen szakaszok középpontjában kell kijelölni. A függvények mintavételi pontjainak számát (általában 3-5 pont függvényenként) a

vízmélység, ill. a hordaléktöménység függvény menti eloszlása alapján érdemes megválasztani. A vízmélység ismeretében a mintavételi pontok vízfelszíntől való távolsága előre meghatározott arányok alapján számítható (pl. öt-pontos módszer esetén a mintavételi pontok mélysége rendre 0.05 H, 0.2 H, 0.6 H, 0.8 H, 0.95 H; ahol H a teljes vízmélység a függvényben; 3. ábra). (Haimann és társai 2014b; BMFLUW 2017)



3. ábra. A függély menti mintavételi pontok kiosztása a többpontos mintavételi módszer alapján, 5 pont esetén (Haimann és társai, 2014b alapján)

Figure 3. Scheme of the 5-point method (based on Haimann et al., 2014b)

### TEREPI MÉRÉSI ÉS VÍZMINTAELEMZÉSI MÓDSZEREK

A hazai gyakorlatban több terepi adatgyűjtési és elemzési módszer is elterjedt. Tapasztalataink szerint a különböző eljárásokkal kapott eredmények értékelésénél nélkülözhetetlen az eljárások működési elvének, alkalmazási protokolljának, valamint előnyeinek és hátrányainak ismerete. Erre vonatkozóan a hazai szakirodalomban nem található kielégítő részletességű magyar nyelvű publikáció.

Ezért a következőkben ismertetjük azokat a mérési eljárásokat, amelyek a javasolt monitoringrendszer elemeiként használhatók. Külön tárgyaljuk a terepi adatgyűjtési módszereket és a laboratóriumi vizsgálati eljárásokat. Ahogy a későbbiekben látható lesz, mindkét mérési csoport esetén beszélhetünk közvetlen és közvetett eljárásokról, amelyek célirányosan kombinálhatók.

#### Terepi adatgyűjtési eljárások

A lebegtetett hordalékmonitoring rendszer folyamatos és alkalmasszerű terepi mérésekre épül. A fentiekből látható volt, hogy a rendszer egyik lényegi eleme a folyamatos parti menti hordaléktöménység mérés, ami egy telepített zavarosságmérővel valósítható meg. A közvetett vagy indirekt módon működő zavarosságmérő megfelelő használatához azonban szükséges felállítani a mért zavarosság és a műszerfejnél jellemző hordaléktöménység közötti kapcsolatot, amihez a műszerfejnél végrehajtott direkt, közvetlen vízmintavételek szükségesek. A kiegészítő, szelvény mentén végrehajtott méréseknél is megkülönböztetünk közvetlen, fizikai mintavételezést és közvetett, akusztikus vagy optikai elven működő eljárásokat. Ezeket az eljárásokat tárgyaljuk a következőkben.

#### Közvetlen mintavételi eljárások

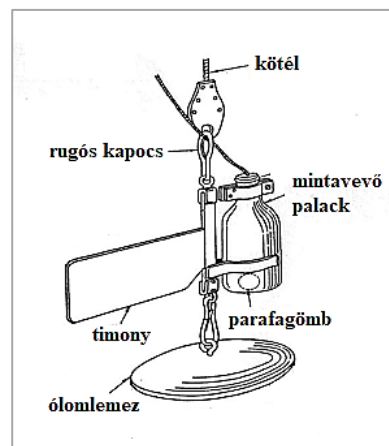
A legegyszerűbb közvetlen mintavételi módszer a mérítési technika, amikor is a vízfelszínről egy egyszerű edénnyel (jellemzően vödörrel) merítve történik a mintavétel. Ez nem (magyar) szabványos eljárás, sőt a mintavétel során zavart mintát kapunk. Csak akkor ajánlatos ezt a módszert alkalmazni, ha semmilyen egyéb eljárás nem jö-

het szóba (például kis mélység vagy áramlási sebesség, idő- és erőforráshiány vagy extrém vízjárás, időjárási viszonyok esetén), illetve, ha közelítő értékek is elfogadhatóak. Az ilyen eljárással kapott eredményeket mindig megfelelő fenntartásokkal kell kezelni.

A palackos mintavétel (4. ábra) alapelve a hidrosztatikai és a légnyomás kiegyenlítődésein alapul. Az eszköz a vízbe engedve az áramlási irányába áll, majd a beömlő nyíláson keresztül a vízminta a tartályba kerül (Kutai 2014).

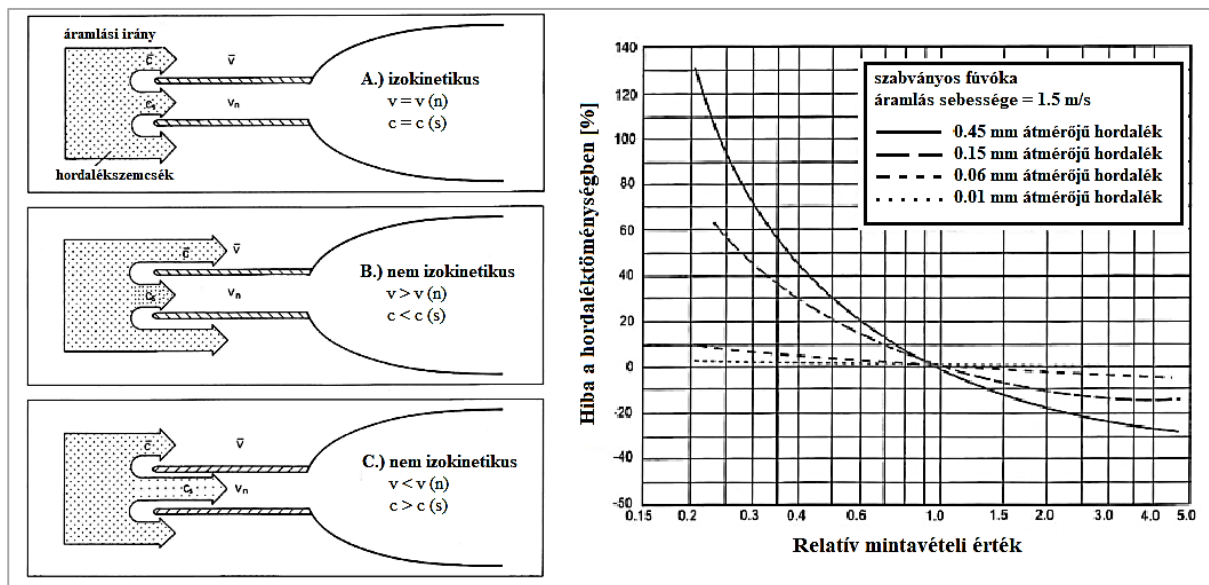
A mintavétel során fontos, hogy a mintavevőbe áramló víz sebessége közel megegyezzen az áramlási sebességgel, ugyanis csak ebben az esetben lesz közel azonos a vízminta és az eredeti közeg lebegtetett hordaléktöménysége. Ekkor beszélünk izokinetikus mintavételről. Ha a mintavétel kisebb sebességgel történik, mint amilyen az áramlási sebesség, akkor a minta hordaléktöménysége magasabb, ellenkező esetben pedig alacsonyabb lesz, mint az eredeti közegé (5. ábra). A sebességkülönbségből eredő hiba a jellemző szemcseméret és a sebességek ismeretében becsülhető (5.

ábra), de a kiküszöbölésének legjobb módja az, ha izokinetikus mintavételt biztosítani képes eszközt használunk. (Garcia 2008)



4. ábra. A palackos mintavétel sematikus ábrája (forrás: ME 10-231-18:2000)

Figure 4. Schematic view of the bottle sampler (source: ME 10-231-18:2000)



5. ábra. A nem izokinetikus mintavétel hatása a vízminta hordaléktöménységére

(Megjegyzés: bal oldalon:  $v$  az áramlási sebesség,  $v(n)$  a mintavételi sebesség; jobb oldalon: a nem izokinetikus mintavétel hibája különböző szemcseméreteket és relatív mintavételi értékek (vagyis  $v/v(n)$  arány) esetén, Garcia 2008 alapján)

Figure 5. The effect of non-isokinetic sampling on suspended sediment concentration

(Note: on the left:  $v$  is the flow velocity,  $v(n)$  is the sampling velocity); on the right: the error in concentration performing non-isokinetic sampling, based on Garcia 2008)

Izokinetikus mintavevő például az ún. gyorsmintavevő (6. ábra), amely az áramvonalas kialakítása révén minimálisan befolyásolja csak a környező áramlási viszonyokat, timonyai segítségével az áramlás irányával párhuzamosan áll be, így biztosítva a fejrészen a hordalékos víz beáramlását. A műszer testében elhelyezett kis térfogatú hengeren egészen addig szabadon áramolhat keresztül a víz, amíg a vízfelszínről mechanikai úton a tartály két végén található gömbcsapok elzárásra nem kerülnek (amit kissé nehézkes végrehajtani a mérőcsónakból).

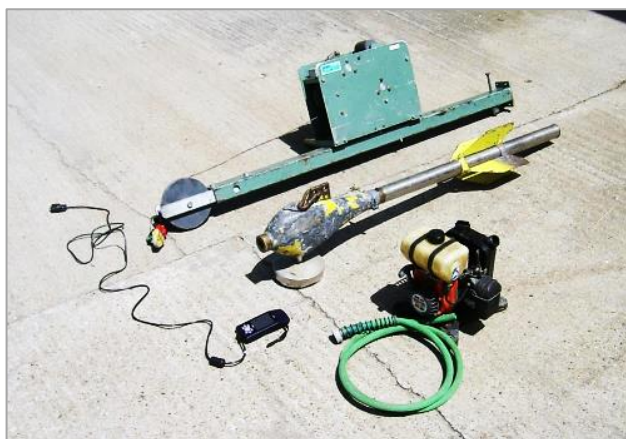
Szabvány szerint használatos az ún. szivattyús mintavevő (7. ábra) is, amely egy egyszerű szivattyúból és

a hozzá csatlakoztatott szívócsőből áll. Mintavételkor a szívócső fejrészének stabilitását, illetve megfelelő irányba állását súllyal kell biztosítani. A szivattyú teljesítményét lehetőség szerint úgy kell szabályozni, hogy a szivattyúzás sebessége közel megegyezzen az áramlási sebességgel a mintavételi pontban. A módszer előnye, hogy nincs korlátozva a minta térfogata (ez, itthon főként a jelenleg szabványos laboratóriumi elemzési módszerek miatt lényeges). Hátránya, hogy a szivattyúcsőben történő áramlás hibával terheli a mintavételi idő pontos meghatározását, így például nehezebben hangolható össze folyamatosan mérő eszközökkel (pl. ADCP vagy zavarosságmérő).





6. ábra. Gyorsmintavevő  
Figure 6. Instantaneous sampler



7. ábra. A szivattyús mintavétel kellékei  
(Forrás: Szlávik és társai 2012)  
Figure 7. Instruments of pump sampling  
(source: Szlávik et al., 2012)

A fent említetteknel jóval kifinomultabb eszköz az elmúlt években a hazai vízügyi ágazatban központilag beszerzett US P-61-A1 izokinetikus mintavevő (8. ábra). Áramvonalas testével és hátsó részén található timonyaival halra hasonlít. A fejrészen található szívókán keresztül elektromos vezérléssel lehet megindítani, illetve elzárni az áramlást. Az elektromos szelep vezérlése a mérőcsónakból történik, a speciálisan kialakított csőrlőrendszer továbbítja az elektromos impulzust a kezelőpaneltől az eszközig. Hátránya az elektromos rendszer érzékenysége (szakszerű, óvatos kezelést igényel), valamint az egyedi amerikai szabvány szerint készült mérőtartályok beszerzése (Baranya és társai 2017).



8. ábra. Az US-P1-A1 izokinetikus mintavevő  
Figure 8. US-P1-A1 isokinetic sampler

A terepi mintavétel után gondoskodni kell a minták szállításáról és tárolásáról. A laboratóriumi elemzést lehetőleg a mintavételt követő 1-3 napon belül el kell végezni, s a mintákat az elemzésig légmentesen, hűvös, napfénytől elzárt helyiségben kell tárolni.

### Közvetett mintavételi eljárások

Az indirekt hordalékmérési eljárások során a lebegtetett hordalékvándorlás keresett paramétere valamilyen közvetett módon kerül meghatározásra. Az ehhez használt eszközök nem közvetlenül a hordaléktöménységet vagy a lebegtetett hordalék szemösszetételét adják meg, hanem például a zavarosságot mérve vagy a műszer által kibocsátott jel megváltozását elemezve, empirikus, fél-empirikus összefüggések alapján következtetnek azokra. Ezek az indirekt eszközök alapvetően két nagy csoportba sorolhatók: optikai, illetve akusztikus elven működő eszközök. Jellemzően in situ mérésekre alkalmazzák őket (pl. zavarosságmérő szondák), miáltal nincs szükség fizikai mintavételre és laboratóriumi elemzésre. Bizonyos típusaik (pl. kézi zavarosságmérő műszerek, LISST-Portable|XR) azonban terepi és laboratóriumi elemzést is egyaránt lehetővé tesznek, amihez viszont újfent kalibráló mintavétel szükséges.

### Optikai elven működő eszközök

Az optikai elven működő eszközök az általuk kibocsátott fénysugaraknak a vízmintán történő áthaladása közben a mintában lévő részecskékkel történt kölcsönhatás során tapasztalható megváltozásait mérik, elemzik. (Baranya és társai 2017) Alapvetően két nagy csoport különböztethető meg: a lézervény szóródásán ill. az infravörös fény visszaverődésén alapuló eszközök. A lézerdiffrakciós eszközöket elsősorban laboratóriumi vízmintaelemzésre használják, bár vannak olyan változataik, amelyek terepen is bevetethők és valósidőben szolgáltatnak információt a lebegtetett hordalékról. Cikkünkben a terepi lézerdiffrakciós eljárást nem tárgyaljuk, csak a fizikai vízmintavételek során vett minták utólagos elemzéséhez kapcsolódóan ismertetjük a későbbiekben.

A visszavert infravörös fény elemzésén alapuló műszerek (OBS – *Optical Backscatter Sensor*) működése az általuk kibocsátott fényintenzitás hordalékszemcsékről visszaverődött erőssége és a vizsgált vízminta hordaléktöménysége közti korreláción alapul. A műszer kalibrálásához a visszaverődött jelerősség és a mért hordaléktöménység közt felállított kapcsolatot kell használni. Az OBS műszerek jellemzően terepi mérésre használt szondák (pl. Solitax ts-line sc, 9. ábra; Ponsel NTU bemerülő szondák), de létezik laboratóriumi változatuk is (pl. Hach TU5 laboratóriumi zavarosságmérő; VELD TB1 hordozható kézi zavarosságmérő, 9. ábra). Mivel az OBS műszerek nem veszik figyelembe a hordalékszemcse méretét, a szemcseméretben jelentkező inhomogenitásra érzékenynek bizonyulnak (Downing 2006, Boss és társai 2018), a kalibráció során ezért figyelembe kell venni azt is, hogy milyen szemcseméret-tartományról van szó.



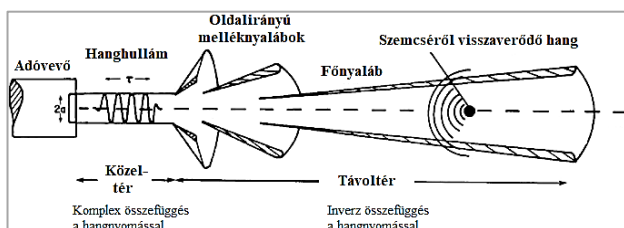


9. ábra. Solitax ts-line sc szonda (bal; forrás: Internet 1) és VELP TBI kézi zavarosságmérő (jobb)

Figure 9. Solitax ts-line sc probe (left; source: Internet 1) and VELP TBI portable turbidimeter (right)

#### Akusztikus elven működő eszközök

A lebegtetett hordalékmérés gyakorlatában széleskörűen alkalmazzák az akusztikus elven működő eszközöket is (pl. Baranya és Józsa 2010, Guerrero és társai 2011 és 2012, Agrawal és Hanes 2015, Agrawal és társai 2016, Guerrero és társai 2016). Az akusztikus elmélet tudományos megalapozásával már számos kutató foglalkozott, többek között Thorne és társai 1991, Gray és Gartner 2009, Moate és Thorne 2012. Az akusztikus eszközök az optikai eszközökhöz hasonlóan működnek (10. ábra), anynyi különbséggel, hogy a fénytörés helyett az általuk kibocsátott hanghullámok visszaverődését elemezve határozzák meg a hordaléktöménységet. Mivel a visszaverődés idejéből a hordalékszemese detektortól mért távolságára is lehet következtetni, az akusztikus eszközök alkalmasak profil vagy mozgójajós mezőszerű hordalékmérésekre is (az optikai eszközökkel szemben). További előnyük, hogy kevésbé érzékenyek a biofilm képződésre, algásodásra. Ilyen eszköz például a LISST-ABS (Acoustical Backscatter Sensor), de az eredetileg áramlásmérésre használt ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) is.



10. ábra. Az akusztikus eszközök működési elvének sematikus ábrája (Thorne és társai 1991 alapján)

Figure 10. Scheme of acoustic theory (after Thorne et al., 1991)

Az ABS szondák (11. ábra) a műszerfejtől néhány cm-es távolságban mérnek, így az eszköz kalibrálásakor nem szükséges számításba venni a hangelnyelődést. Ezzel szemben az ADCP (11. ábra) esetében a kibocsátott (és visszaverődő) hanghullámok már jelentősebb utat tesznek meg a víztérben, így a hanghullámok elnyelődését és szóródását is figyelembe kell venni. Az ADCP visszavert jelerősség kalibrálása az ún. szonár-egyenlet alapján történik, amely több paramétert is tartalmaz a víz és a hordalékszemcsék általi elnyelődés, illetve szóródás

hatásainak számszerűsítése érdekében. A kalibrálás elméletét, alkalmazhatóságának feltételeit és korlátait már sokan vizsgálták és tárgyalták (pl. Gartner 2004, Baranya és Józsa 2010, Guerrero és társai 2011 és 2012, Sassi és társai 2012, Agrawal és Hanes 2015, Guerrero és társai 2016).



11. ábra. Akusztikus eszközök: LISST-ABS (bal; forrás: Internet 2) és Teledyne RDI ADCP (jobb)

Figure 11. Acoustic devices: LISST-ABS (left; source: Internet 2) and Teledyne RDI ADCP (right)

#### Laboratóriumi vízmintaelemzési eljárások

Hasonlóan a terepi mérési eljárásokhoz, a vízmintaelemzési módszereknek is megkülönböztetünk közvetlen, a víz fizikai elemzésén keresztül végzett és közvetett, elsősorban optikai elven működő eljárásokat. A következőkben mindkét elemzési csoportot bemutatjuk.

#### Közvetlen hordalékelemzési eljárások

A közvetlen vagy direkt hordalékelemzési eljárások során a fizikai mintavételből származó vízminták elemzése hagyományos laboratóriumi elemzési módszerekkel – evaporációs vagy filtrációs módszer – történik.

Az evaporációs módszer során a nagy térfogatú mintát 24 órán keresztül ülepítik, majd a felső, immár hordalékmentes vízréteg dekantálása után a megmaradt, úgymond besűrített hordalékos vízmintát kisebb, előzetesen  $\pm 0.1$  mg pontossággal lemért, ismert tömegű porcelántéglékbe adagolva, szárítószekrényben  $105^\circ\text{C}$ -on tömegállandóságig kell szárítani (12. ábra). A szárítás befejeztével a téglék újbóli lemérésével, s a vízminta eredeti térfogatának ismeretében számíthatóvá válik a hordaléktöménység. Ez a módszer ugyan olcsó, de időigényes és sok hibalehetőséget rejt magában.



12. ábra. Az evaporációs módszer során az előzőleg kiülepített vízminta téglékbe porciózása (bal) után tömegállandóságig szárítandó (jobb)

Figure 12. Evaporation method – the settled water sample (left) is dried to constant weight (right)

A filtrációs (vagy szűrőpapíros) módszer már lényegesen kifinomultabb. Több változata is ismert, melyek közül a vákuumszűrő alkalmazása a legelterjedtebb, de például nagyobb hordaléktöménységek esetén a pozitív nyomású szűrőberendezés (13. ábra) kisebb időigényű a vákuumszűrőhöz képest.

A filtrációs módszer jellemző lépései: (1) Sorszámozott szűrőpapírokat tepsiben 105 °C-on, legalább 1 órán keresztül szárítószekrényben tömegállandóságig kell szárítani (ez azt jelenti, hogy a szűrőpapír tömegét két külön időpontban lemérve, a két tömeg közti változás legfeljebb  $\pm 0.1$  mg), s rögzíteni a szűrőpapírok ún. szűrés előtti tömegét ( $m_e$ ). (2) A szűrőberendezés szűrőkorongjára sorszámozott membránszűrőt kell helyezni, amire tömítőgyűrű, s a szűrőpohár/ház kerül. (3) Az átszűrendő minta térfogatát ( $V_m$ ) ml pontossággal meg kell határozni (jellemzően mérőhenger segítségével). (4) A mérőhengerből át kell önteni a szűrőpohár/ház belsejébe a mintát. A mérőhengert desztillált vízzel át kell öblíteni, hogy ne maradjanak az üvegfalon esetleg megtapadt hordalékszempék. (5) A vákuum/nyomás megnyitásával – a hordaléktöménység függvényében – pillanatok alatt átszűrhető a vízminta. (6) A minták átszűrése után a szűrőpapírokat – most már a lebegtetett hordalékkal együtt – a 105 °C-ra előmelegített szárítószekrénybe kell tenni, s 2-4 óra alatt tömegállandóságig szárítani. A szűrőpapírokat újból lemérve a szűrés utáni tömeg ( $m_u$ ) kapható meg. (7) A lebegtetett hordaléktöménység (SSC) a következő képlet alapján számítható:

$$SSC = \frac{m_u - m_e}{V_m} \left( \frac{\text{mg}}{\text{l}} \right)$$

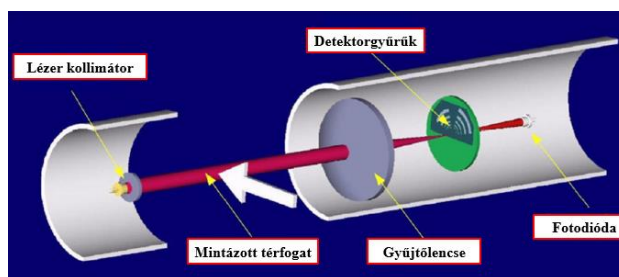


13. ábra. A pozitív nyomású vízszűrés eszközei: pozitív nyomású vízszűrő berendezés, 47 mm átmérőjű, 0.45 µm pórusméretű cellulóz-acetát membránszűrő és analitikai mérleg  
Figure 13. Equipment of pressure filtration: pressure filtration system, cellulose-acetate membrane filter (47 mm diameter, 0.45 µm pore size) and analytical balance

#### Közvetett hordalékelemzési eljárások

A korábbiakban leírtak szerint az indirekt hordalékelemzési eljárások közül utólagos vízminta-

elemzésre általában az optikai eszközöket használják, azon belül is a zavarosságmérőt és a lézerdiffrakciós módszereket. Előbbi a fentiekben már tárgyaltuk, mivel terepen is jól alkalmazhatók. A lézerdiffrakciós eszközök működési elvéről részletesen értekeznek például *Agrawal és társai 2008*, *Gray és Gartner 2009*, valamint *Czuba és társai 2015*. A lézerfény szóródását elemző műszerek meghatározott hullámhosszú lézerfényt bocsátanak ki, amely a vizsgált minta teljes térfogatán áthalad, s szóródik a mintában lévő hordalékszempéken. A szóródó lézerfény gyűjtőlencse segítségével koncentrikusan elhelyezett detektorgyűrűkre érkezik. Egy lézerdiffrakciós műszer működési elve a 14. ábrán látható.



14. ábra. A LISST (Laser In-Situ Scattering and Transmissometry) műszerek működési elve (Sequoia Inc. 2017 alapján)

Figure 14. Principle of operation of LISST devices (after Sequoia Inc. 2017)

A kibocsátott, illetve a detektorokon érzékelt fény mennyiségének különbségéből következtetni lehet a mintában található szilárd anyag mennyiségére – a minta térfogatának ismeretében pedig a térfogatkoncentrációra (ez a hordalék sűrűségének ismeretében átszámítható tömegkoncentrációra). Minél nagyobb a hordaléktöménység egy adott mintában, annál több fény nyelődik el útközben. Ezen az elven működnek például a LISST-100X, LISST-200X és LISST-Portable|XR műszerek (15. ábra).

Mivel a lézerfény szóródása a szemcseméret függvényében történik, az egyes detektorgyűrűkre eltérő mennyiségű fény érkezik, amiből visszaszámolható az adott gyűrűhöz tartozó szemcseméret relatív gyakorisága a mintában. Ezáltal ezek a műszerek a lebegtetett hordalék összetételét is közelítőleg meg tudják állapítani. A hagyományos ülepítési eljáráshoz képest ez lényegesen gyorsabb, s nem igényel nagy térfogatú mintát sem.

Elmondható, hogy a lézerfény szóródásán alapuló eszközök különösen érzékenyek a hordalékszempék alakjára, hiszen máshogy szóródik a fény egy természetes szemcsékkel teli közegben, mint ahogy azt sima felületű, gömb részecskékről tenné. Emellett hatással van a műszer által adott eredményekre a lebegtetett hordalék ásványos összetétele is: a különböző ásványok refrakciós indexe vagy akár a színe befolyásolja a fénytörést, a nem megfelelően becsült sűrűség hibát eredményez a térfogat- és tömegkoncentráció közti átváltásban, 20 µm szemcseméret alatt pedig már jelentős hatással bír a szerves anyag jelenléte is (*Czuba és társai 2015*).



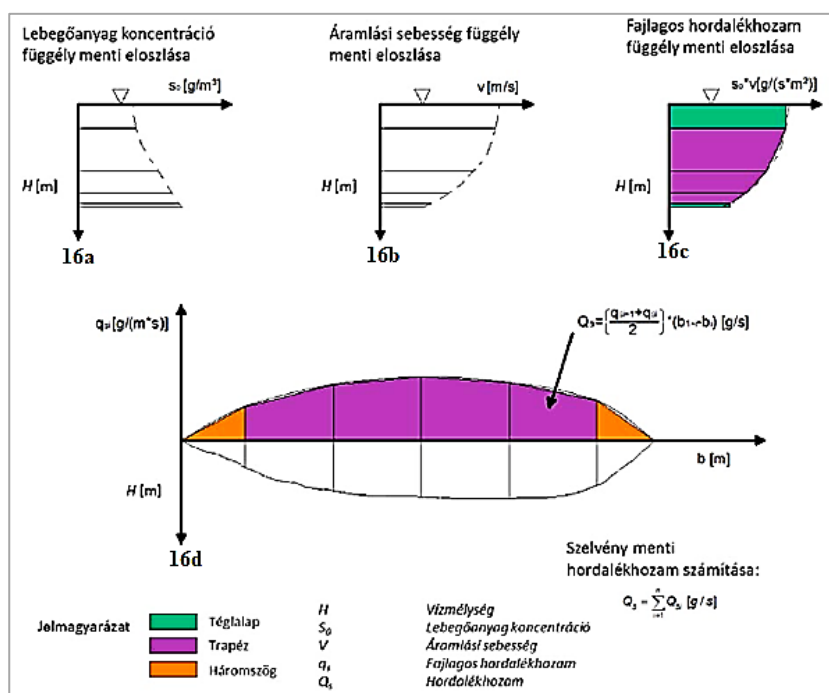


15. ábra. Lézerdiffrakciós eszközök: LISST-200X (bal; forrás: Internet 3) és LISST-Portable|XR (jobb)  
Figure 15. Laser diffraction devices: LISST-200X (left; source: Internet 3) and LISST-Portable|XR (right)

### A LEBEGTETETT HORDALÉKHOZAM MEGHATÁROZÁSA

A szelvény menti lebegtetett hordalékhozam a többpontos mintavételi módszerrel vett minták elemzéséből kapott hordaléktöménység és a mintavételi pontokban mért áramlási sebesség alapján becsülhető a legpontosabban. Az összetartozó áramlási sebesség és hordaléktöménység

szorzata a pont környezetére jellemző fajlagos hordalékhozamot adja ( $\text{g}/\text{sm}^2$ ) (16. ábra). A szorzat teljes szelvényre vett integrálásával (16. ábra) a teljes hordalékhozam számítható ( $\text{kg}/\text{s}$ ). Mivel a fajlagos hordalékhozam értékek diszkrét pontokban ismertek, az integrálási művelet háromszögek, téglalapok és trapézok területeinek összegzéseként is számítható.



16. ábra. Integrál-módszer a szelvény menti lebegtetett hordalékhozam számítására (Haimann és társai, 2014b)  
Figure 16. The integral approach of calculating cross-sectional suspended sediment load (Haimann et al., 2014b)

Fontosnak tartjuk megjegyezni, hogy mivel nagyobb folyók esetében a sebességmérés általában ADCP-vel történik, az expedíciós hordalékmérés során is rendelkezésre állnak mozgóhajós, szelvény menti mérési adatok. A korábbiakban leírtak szerint az ADCP által mért visszavert jelerősség alapján is lehetőség van a szelvény menti hordaléktöménység eloszlás meghatározására, ami a szelvény menti változékonyság pontosabb feltárását szolgálhatja.

A szelvény menti mérések eredményeként előálló, a szelvény mentén átvándorló pillanatnyi hordalékhozam adatok és a vízhozam alapján meghatározható minden ilyen mérésre egy szelvényátlagolt hordaléktöménység érték. Ahogyan azt az 1. ábrán is bemutattuk, a hordalékmonitoring rendszer egyik lényegi eleme a part menti hordaléktöménység és a szelvényátlagolt hordaléktöménység közötti kapcsolat felállítása, hiszen ha ez a kap-

csolat meghatározható, akkor a későbbiekben a folyamatos part közeli hordaléktöménység és a mindenkori vízhozam alapján megbízható becslés adható a hordalékhozamra. Az időben folyamatosan változó hordalékhozam értékeket a part menti zavarosság-mérés és a vízhozam adatok időbeli felbontása szerint állíthatjuk elő.

## ÖSSZEGZÉS

A fentiekben bemutatott új, integrált vizsgálati módszer tehát egy part menti zavarosság-mérő telepítését szorgalmazza, amely kalibrálása (és a kalibráció időnkénti felülvizsgálása) kiegészítő expedíciós mérésekkel történne. Az expedíciós mérések során a szelvény menti hordaléktöménység eloszlásának, s annak változásainak minél pontosabb, részletesebb lekövetésére a többpontos mintavételi módszer ajánlott. Nagy folyók esetében a fizikai mintavételre a bemutatott, hazai gyakorlatban is alkalmazott eljárások és műszerek közül a US-P61-A1 izokinetikus mintavevő műszer alkalmazása a leginkább, tekintettel arra, hogy a hordalékjárásban meghatározó, nagyvízi időszakokban is alkalmas megbízható mérések elvégzésére. A hordaléktöménység meghatározására több lehetőség is adott. Kalibrálás céljára jelenleg a hagyományos filtrációs módszer tekinthető a legmegbízhatóbbnak, azonban egy megfelelően kalibrált lézerdiffrakciós eszköz a felülvizsgálati méréseknél már alkalmazható lehet, jelentősen csökkentve ezzel a hordalékmérés időigényét. Az ADCP visszavert jelerősség kalibrálásával pedig bármikor részletgazdag kép kapható a szelvény menti hordaléktöménység eloszlásáról is, ami további pontosításra ad lehetőséget.

Ezzel az új vizsgálati módszerrel a nagy folyók lebegtetett hordalékvándorlásának tér- és időbeli felbontása jelentősen növelhető, a monitoring rendszer részletgazdag információkkal szolgálhatna a folyók hordalékjárásához kapcsolódó feladatok kiszolgálására. A folyamatos mérés lényeges előrelépést jelentene a jelenleg alkalmazott hazai előírással szemben, amely során évente öt, előre meghatározott alkalommal történik lebegtetett hordalékmérés. Az automatizált mérőrendszer telepítésével azonban a hordalékmérések időigénye (terepi mérések, laboratóriumi elemzés stb.) végeredményben jelentősen csökkenne.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikkben bemutatott kutatás kapcsolódik a SEDDON II elnevezésű Ausztria-Magyarország határon átnyúló együttműködési programban megvalósított projekthez és a Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Hivatal (NKFIH) által támogatott 2018-1.2.1-NKP-2018-00011 számú, „Tiszta ivóvíz: a biztonságos ellátás multidiszciplináris értékelése a forrástól a fogyasztókig” projekthez. A második szerző köszönetét fejezi ki az Innovációs és Technológiai Minisztérium ÚNKP-19-4 Kód-számú Új Nemzeti Kiválóság Programjának támogatásáért és az MTA Bolyai János ösztöndíjért. A tanulmány kapcsolódik továbbá az NKFIH támogatásával megvalósuló FK128429 számú kutatási projekthez és az Emberi Erőforrások Minisztériuma által támogatott FIKP-VÍZ Programhoz.

## IRODALOMJEGYZÉK

- Agrawal, Y.C., Slade, W., Pottsmith, H.C., Dana, D. (2016). Technologies and experience with monitoring sediments for protecting turbines from abrasion. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, 49, 122005.
- Agrawal, Y.C., Hanes, D.M. (2015). The implications of laser-diffraction measurements of sediment size distributions in a river to the potential use of acoustic backscatter for sediment measurements. *Water Resour. Res.*, 51, 8854-8867.
- Agrawal, Y.C., Whitmire, A., Mikkelsen, O.A., Pottsmith, H.C. (2008). Light scattering by random shaped particles and consequences on measuring suspended sediments by laser diffraction. *J. Geophys. Res.*, 113.
- Baranya S., Csiti B., Fleit G., Kutai R.D., Lükő G., Rütther, N., Szabó-Mészáros M., Timár G., Tóth T., Török G.T. (2017). Hidromorfológiai mérések. Folyami hidromorfológiai mérőgyakorlat vízmérnök és geofizikus MSc hallgatók számára. Egyetemi jegyzet, Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem.
- Baranya S., Józsa J. (2010). ADCP alkalmazása lebegtetett hordalék-koncentráció becslésére. *Hidrológiai Közlöny*, 90. évf. 3. szám. pp. 17-22.
- BMFLUW (2017). *Schwebstoffe im Fließgewässer – Leitfaden zur Erfassung des Schwebstofftransports*. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 2. Auflage, Vienna, Austria.
- Boss, E., Sherwood, C.R., Hill, P., Milligan, T. (2018). Advantages and Limitations to the Use of Optical Measurements to Study Sediment Properties. *Appl. Sci.*, 8(12), 2692.
- Czuba, J.A., Straub, T.D., Curran, C.A., Landers, M.N., Domanski, M.M. (2015). Comparison of fluvial suspended-sediment concentrations and particle-size distributions measured with in-stream laser diffraction and in physical samples. *Water Resour. Res.*, 51, 320-340.
- DanubeSediment (2019). *Handbook on Good Practices in Sediment Monitoring*. Projekt jelentés. Budapest.
- Downing, J. (2006). Twenty-five years with OBS sensors: The good, the bad, and the ugly. *Cont. Shelf Res.*, 26, 2299-2318.
- Gartner, J.W. (2004). Estimating suspended solids concentrations from backscatter intensity measured by acoustic Doppler current profiler in San Francisco Bay, California. *Mar. Geol.*, 211(3-4), 169-187.
- Gray, J.R., Gartner, J.W. (2009). Technological advances in suspended-sediment surrogate monitoring. *Water Resour. Res.*, 45(4).
- Gray, J.R., Glysson, G.D., Edwards, T.E. (2008). Suspended sediment samplers and sampling methods. In *Sedimentation Engineering – Processes, Measurements, Modeling, and Practice*, M. Garcia (ed.), American Society of Civil Engineers Manual 110, ch. 5.3., American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia, pp. 318-337.
- Guerrero, M., Rütther, N., Szupiany, R., Haun, S., Baranya, S., Latosinski, F. (2016). The acoustic properties



of suspended sediment in large rivers: consequences on ADCP methods applicability. *Water*, 8, 13.

Guerrero, M., Rüther, N., Szupiany, R.N. (2012). Laboratory validation of acoustic Doppler current profiler (ADCP) techniques for suspended sediment investigations. *Flow Meas. Instrum.*, 23, 40–48.

Guerrero, M., Szupiany, R.N., Amsler, M.L. (2011). Comparison of acoustic backscattering techniques for suspended sediments investigations. *Flow Meas. Instrum.*, 22, 392–401.

Haimann, M., Liedermann, M., Lalk, P., Habersack, H. (2014). An integrated suspended sediment transport monitoring and analysis concept. *Int. J. Sed. Res.*, 29, 135–148.

Haimann, M., Gmeiner, P., Liedermann, M., Aigner, J., Kreisler, A., Riegler, A., Blamauer, B., Baranya, S., Török, G.T., Ficsor, J., Józsa, J., Mohácsiné Simon, G., Hengl, M., Habersack, H. (2014). Hordalékvizsgálati kézikönyv. SEDDON projekt.

Internet 1: <https://www.hach.com/suspended-solids/solimax-sc-sensors/family?productCategoryId=35547137098#>

Internet 2: <http://www.sequoiasci.com/product/lisst-abs/>

Internet 3: <http://www.sequoiasci.com/product/lisst-200x/>

Kutai R.D. (2014). Pontbeli zavarosság-mérésen alapuló hordalékhozam becslő eljárás implementálása a Dunára. TDK dolgozat, Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem.

ME 10-231-18:2000. Felszíni vizek lebegtetett hordalékának mérése palackos mintavételezéssel. Műszaki előírás.

ME 10-231-20:2009. Felszíni vizek lebegtetett hordalékának mérése szivattyús mintavételezéssel. Műszaki előírás.

Moate, B.D., Thorne, P.D. (2012). Interpreting acoustic backscatter from suspended sediments of different and mixed mineralogical composition. *Cont. Shelf Res.*, 46, 67–82.

Nagy K. (2013). Operatív folyami lebegtetett hordalék monitoring tudományos megalapozása korszerű mérési módszerekkel. TDK dolgozat, Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem.

Sassi, M.G., Hoitink, A.J.F., Vermeulen, B. (2012). Impact of sound attenuation by suspended sediment on ADCP backscatter calibrations. *Water Resour. Res.*, 48, 1–14.

Sequoia Inc. (2017). Laser Diffraction Principles. Online cikk: <http://www.sequoiasci.com/article/laser-diffraction-principles/> (Utoljára megtekintve: 2020. január 4.)

Szlávik, L., Sziebert, J., Tamás, E.A. (2012). A Dráva morfológiai monitoringja – Hordalékvizsgálat. Szakértői tanulmány.

Thorne, P.D., Vincent, C.E., Hardcastle, P.J., Rehman, S., Pearson, N. (1991). Measuring suspended sediment concentrations using acoustic backscatter devices. *Mar. Geol.*, 98, 7–16.

## A SZERZŐK



**POMÁZI FLÓRA** Építőmérnök BSc oklevelét 2016-ban, majd Infrastruktúra-építőmérnök MSc diplomáját 2018-ban szerezte a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen. Jelenleg az egyetem Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszékének doktorandusza. Doktori kutatásának témája a folyami lebegtetett hordaléktranszport. A Magyar Hidrológiai Társaságnak 2013 óta tagja.

**BARANYA SÁNDOR** Építőmérnöki oklevelét a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen szerezte 2003-ban, PhD fokozatát ugyanitt 2010-ben. Jelenleg a BME Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszékének egyetemi docense. Kutatási területe folyók medermorfológiai, áramlástan és hordalékvándorlási vizsgálata terepi eljárásokkal és számítógépes modellezéssel. A Magyar Hidrológiai Társaságnak 2003 óta tagja.

**TÖRÖK GERGELY** Építőmérnöki oklevelét 2012-ben, PhD fokozatát 2018-ban szerezte meg a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen. Jelenleg az MTA-BME Vízgazdálkodási Kutatócsoport tudományos munkatársa. Kutatási területe a vegyes szemösszetételű folyómedrek morfológiai folyamatainak vizsgálata. A Magyar Hidrológiai Társaságnak 2010 óta tagja.

## A mennyiségi igénybevételi határérték meghatározásának szempontjai és modellezési háttere

Kovács Attila<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat, 1143 Budapest, Stefánia út 14.

<sup>2</sup> MTA-ME Műszaki-Földtudományi Kutatócsoport, 3515 Miskolc, Egyetemváros.

### Kivonat

A 219/2004 Kormányrendelet a Mennyiségi Igénybevételi Határértéket (Mi) a víztest egy adott lehatárolt részén hasznosítható, m<sup>3</sup>/évben kifejezett felszín alatti vízkészletként definiálja. Ez a definíció azonban önmagában még nem alkalmas vízkészlet-gazdálkodási célokra, ezért szükséges a definíció pontosítása, és a Mennyiségi Igénybevételi Határérték meghatározására alkalmas módszertan meghatározása. A jelen tanulmány az Mi telített zónára vonatkozó numerikus modellezés útján történő meghatározásának javasolt módszertanát tartalmazza.

Vízszintre és a vízkivétel hozamára vonatkozó küszöbértékek és puffer zónák alkalmazhatóak vízkészlet-gazdálkodási eszközként. A nemzetközi szakirodalom és a vonatkozó vizsgálatok szerint ezen eszközök együttes alkalmazása képes megfelelő védelmet adni a potenciális hatásviselőknek, és egyben biztosítani a vízkitermelések zavartalanágát.

Az Mi határérték meghatározása numerikus modellezés útján lehetséges megbízhatóan. A modellezés során szükséges a vizsgált terület lehatárolása és koncepcionális modelljének megalkotása. Az Mi meghatározásához szükséges a potenciális hatásviselők azonosítása és vizsgálata, azért, hogy azok terhelhetőségére vonatkozó megfelelő indikátorok és az azokhoz tartozó küszöbértékek meghatározhatóak legyenek.

Az Mi meghatározása a termelések tér és időbeli elosztására vonatkozó forgatókönyvek felállítása, és modell szimulációkkal történő optimalizálása útján lehetséges. A modellezés során a hatásviselőkre vonatkozó indikátor küszöbértékek teljesülését szükséges vizsgálni.

### Kulcsszavak

Vízkészlet-gazdálkodás, mennyiségi igénybevétel, vízföldtani modellezés.

## Aspects and modelling background for determining permissible annual volume

### Abstract

The 219/2004 Governmental Decree on the protection of groundwater defines the permissible annual volume (PAV, m<sup>3</sup>/year) of groundwater abstraction as the volume (m<sup>3</sup>/year) extractable from a given delimited part of a groundwater body. This definition in itself is insufficient for groundwater management, and thus it is necessary to refine this definition and to provide a methodology suitable for determining PAV. This paper provides a suggested methodology for determining PAV by numerical modelling for a saturated zone.

Thresholds values for water level and water abstraction yields as well as buffer zones can be used as applicable water resource management tools. According to international literature and relevant studies, the combined use of these devices is capable of providing adequate protection to potentially affected stakeholders and at the same time ensuring the smooth operation of water extraction. The PAV can be determined through numerical modelling, which includes the delineation of the model area and definition of a conceptual model of the investigated groundwater system. The determination of the PAV must include the identification and hydrogeological and/or ecological analysis of the affected stakeholders in order to identify the relevant management tools and to set up criteria.

Efficient determination of the PAV is possible through setting up extraction scenarios, and applying groundwater models for the optimisation of extraction rates. Extraction scenarios can be evaluated through the application of indicator thresholds aimed at protecting the selected stakeholders.

### Keywords

Management of groundwater resources, permissible annual volume, groundwater modelling.

### BEVEZETÉS

A jelen publikáció a felszín alatti vizekkel kapcsolatos Mennyiségi Igénybevételi Határérték (Mi) meghatározására vonatkozó általános módszertani szempontokat és modellezési hátteret vázolja fel.

A Mennyiségi Igénybevételi Határérték fogalmát a 219/2004 (VII.21.) Kormányrendelet definiálja (3. § (6)), mely szerint az „igénybevételi határérték (Mi): a víztest egy adott lehatárolt részén hasznosítható felszín alatti vízkészlet m<sup>3</sup>/évben kifejezve”.

Habár a 2015-ös Vízyűjtő-gazdálkodási Terv (VGT2) egyik célkitűzése a Mennyiségi Igénybevételi Határértékek megállapítása volt, a VGT2 vonatkozó része alapján

„A felszín alatti víz (FAV) mennyiségi igénybevételi határérték (Mi) megállapítása, a korlátos készletek új szabályozása nem valósult meg... A szakma egy részének véleménye szerint az Mi víztestenkénti meghatározása, és az ennek alapján történő engedélyezés vízkészlet-gazdálkodási szempontból aggályos...”

A VGT2 ugyanakkor rögzíti, hogy „a felszín alatti vízkivételek szabályozása keretében 2021-ig a gyenge állapotú víztestekre, és a jelentős vízkivétellel terhelt víztestekre regionális hidrodinamikai modellezésen, és a vízkivételek felülvizsgálatán, ellenőrzésén alapuló mennyiségi igénybevételi határértékek megállapítása szükséges”.

Az Mi korlátok megállapításának célja a víztestek védelme mellett „a lekötött, de nem hasznosított készletek felderítése és hasznosításba vonása”.

A Mennyiségi Igénybevételi Határértékek tehát – noha ezek meghatározása még nem történt meg – fontos elemét képezik a vízkészlet-gazdálkodásnak, és a hatósági engedélyezési eljárásnak.

## CÉLOK

A jelen tanulmány célja olyan módszertani szempontok felvázolása, ami támogatást nyújt az egyes felszín alatti vízkészlet-gazdálkodási (VKG) egységek Mennyiségi Igénybevételi Határértékének meghatározásához. A felszín alatti vízkészlet-gazdálkodás egység a víztest, vagy annak - a 219/2004 (VII.21.) Kormányrendeletnek megfelelően - hidrológiai, hidrogeológiai és vízhasználati szempontok alapján lehatárolt része. A földtani közeg heterogén és anizotrop, egyes esetekben diszkrét áramlási pályákkal. A vízáramlás számos esetben időben változó peremfeltételekkel jellemezhető (tranzien) folyamat. A mesterséges vízkivételek megváltoztathatják a hidrogeológiai rendszer egyensúlyát, és a rendszer elemeinek egymásra hatását. Ezért az Mi megbízható meghatározása csak megfelelően felépített és kalibrált numerikus modellek alkalmazásával lehetséges.

Egy adott VKG egység esetében eltérhetnek a mesterséges vízkivételekkel érintett hatásviselők. Míg az egyik VKG egységben a termelőkutak egymásra hatása, vagy idegen összetételű vizek hozzákeveredése jelenthet problémát, másik esetben a vízszintsüllyesztés hathat negatívan a felszín alatti vizektől függő ökoszisztémák bizonyos elemeire. Mivel a fentiek miatt számos hatásmechanizmus lehetséges, olyan módszertant igyekszünk felvázolni, ami általánosan alkalmazható a Mennyiségi Igénybevételi Határérték meghatározása során, illetve ismeretjük az Mi meghatározása során követendő modellezési lépéseket.

Ugyanakkor meg kell jegyezni, hogy egyes esetekben felmerülhetnek olyan – nem hidrogeológiai – szempontok is, amelyek nem építhetők be egy vízföldtani modellbe (pl. környezeti, esztétikai és társadalmi-gazdasági szempontok). Ezek kivételes esetként kezelendők, és bevezetésük a VKI, illetve az élőhelyvédelmi irányelvek szerinti speciális hatásvizsgálatokat igényelhet (VKI 4.7 cikk szerinti vizsgálat, Natura 2000 hatásbecslés).

## A MENNYISÉGI VÉDELEM SZEMPONTJAI

A mennyiségi igénybevétellel kapcsolatos szempontok két rendeletben, a 2019/2004 Kormányrendeletben, illetve a 30/2008 KvVM rendeletben jelennek meg. Ezek a rendeletek tartalmazzák tehát az Mi meghatározásához szükséges szempontokat, az alábbiak szerint:

### 219/2004 (VII.21.) Kormányrendelet

4. § (2.4.c) „... úgy kell eljárni, hogy a kapcsolódó felszíni vizek ökológiai vagy kémiai állapotában nem következik be olyan, a felszín alatti vizekkel összefüggésbe hozható jelentős romlás, amely akadályozza a felszíni vizekre külön jogszabályban megállapított környezeti célkitűzések teljesítését”.

4. § (2.4.d) „... úgy kell eljárni, hogy a felszín alatti vizek, illetve víztestek esetében nem következik be a vízmozgás irányának olyan megváltozása, amely a felszín alatti víztest kémiai és fizikai állapotában jelentős és tartós tendenciózus változást eredményez, veszélyeztetve a környezeti célkitűzések teljesítését.”

4. § (2.4.e) „... úgy kell eljárni, hogy a külön jogszabály szerinti vízgyűjtő-gazdálkodási tervben figyelembe vett felszín alatti víztől közvetlenül függő szárazföldi ökoszisztémát a felszín alatti vízkivételek miatt nem éri károsodás.”

4. § (5.bc) „A külön jogszabály szerinti ivóvíz, ásványvíz, illetve gyógyvíz kitermelésére szolgáló üzemelő vagy távlati vízbázis, továbbá a napi 100 m<sup>3</sup>-nél több víz kitermelésére igénybe vett víztesteken a víz rendeltetésszerű felhasználása nem kerül veszélybe.”

9. § (1) „A felszín alatti vizek jó mennyiségi állapotának biztosítása érdekében a tevékenység

a) nem okozhatja (Mi) igénybevételi határérték túllépését,

b) nem vezethet a felszín alatti víztest kémiai és fizikai állapotromlásához, beleértve a káros víz(nyomás)szint (a továbbiakban: vízszint) emelkedését.

(2) A víztest egyes, hidrogeológiai, hidraulikai szempontból elkülönülő részeire, a Kvt. 19. §-ával és a vízgazdálkodásról szóló 1995. évi LVII. törvény 15. §-ával összhangban az (Mi) igénybevételi határértéket a külön jogszabály szerinti vízgyűjtő-gazdálkodási tervben úgy kell meghatározni, hogy az annak megfelelő vízkivétel:

a) ne veszélyeztesse a felszín alatti vizekre vonatkozó környezeti célkitűzéseket, és

b) ne okozzon statisztikailag és környezeti szempontból jelentős és tartósan süllyedő víz (nyomás) szintet, és

c) ne eredményezzen a felszíni vizekből vagy más kémiai összetételű felszín alatti víztestből történő beszívárgással összefüggő kedvezőtlen és tartós változásokat”.

12. § (3) „A vízkivétel engedélyezett mennyisége, figyelembe véve a többi közvetlen és közvetett vízkivétel nem haladhatja meg az (Mi) igénybevételi határértéket”.

### 30/2008. (XII. 31.) KvVM rendelet

5. § (1) „A felszín alatti vízkészletre telepített vízellátási tervtervezésekor figyelembe kell venni a víztestre vonatkozó koncepcionális modellt, a vízkészletre és az igénybevételre vonatkozó adatokat, a felszín alatti víztől függő ökoszisztémák vízigényét és a felszín alatti vízkészlet minőségét.”

(3) „Az (1) bekezdésben meghatározott vízi létesítmények egymástól való távolságát úgy kell meghatározni, hogy az azonos vízadó szintekre települt kutak együttes üzemeltetése esetén - ugyanazon üzemi vízszinthez tartozó - kialakuló vízhozam csökkenés mértéke ne haladja meg az eredeti, üzemszerűen kitermelhető vízhozam 10%-át. A távolság elfogadható mértékének meghatározásánál figyelembe kell venni a helyi adottságokat, a vízhozam csökkenését, a vízszintben, nyomásviszonyokban, vízminőségben és vízhőmérsékletben bekövetkezett változásokat.”

A jogszabályi rendelkezések az alábbiakban összegezhethetők: A Mennyiségi Igénybevételi Határértéket úgy kell felállítani, hogy a felszín alatti vizek kitermelése:

1. Ne okozzon tartósan csökkenő hidraulikai potenciál viszonyokat,
2. Ne okozzon hátrányos vízkémiai vagy hőmérsékleti változásokat,
3. Ne veszélyeztesse a felszín alatti vizektől függő ökoszisztémákat (FAVÖKO),
4. Ne veszélyeztessen egyéb vízhasználatokat.

### TERÜLETTÍPUSOK AZ MI SZEMPONTJÁBÓL

Vízgazdálkodási szempontból a víztestek közzettani, mélységi és hőmérsékleti szempontból osztályozhatók. A VGT2 az alábbi víztest típusokat különíti el:

- sekély porózus,
- sekély hegyvidéki,
- porózus,
- hegyvidéki,
- porózus termál,
- karszt,
- termálkarszt.

Sajnos a fenti beosztás nem veszi figyelembe a víztestekre jellemző hidrodinamikai folyamatokat, hiszen például a „Karszt” kategóriába olyan nagy kiterjedésű dolomitos vízadókat is besorolnak, amelyek nem mutatnak karsztos hidrodinamikai működést. Az MI határérték meghatározásának módszertana szempontjából a hidrogeológiai rendszereket aszerint érdemes osztályozni, hogy a víz-

kivételek milyen hatásmechanizmussal és milyen hatásviselőkire hatnak, hogyan modellezhetők, valamint milyen indikátorok használhatók a Mennyiségi Igénybevételi Korlát megállapításához? Eszerint az alábbi alaptípusok különíthetők el:

- porózus rendszerek,
- karsztos rendszerek,
- repedezett karbonátos rendszerek,
- hasadozott magmás rendszerek,
- határral osztott rendszerek,
- FAVÖKO rendszerek,
- ezek kombinációi.

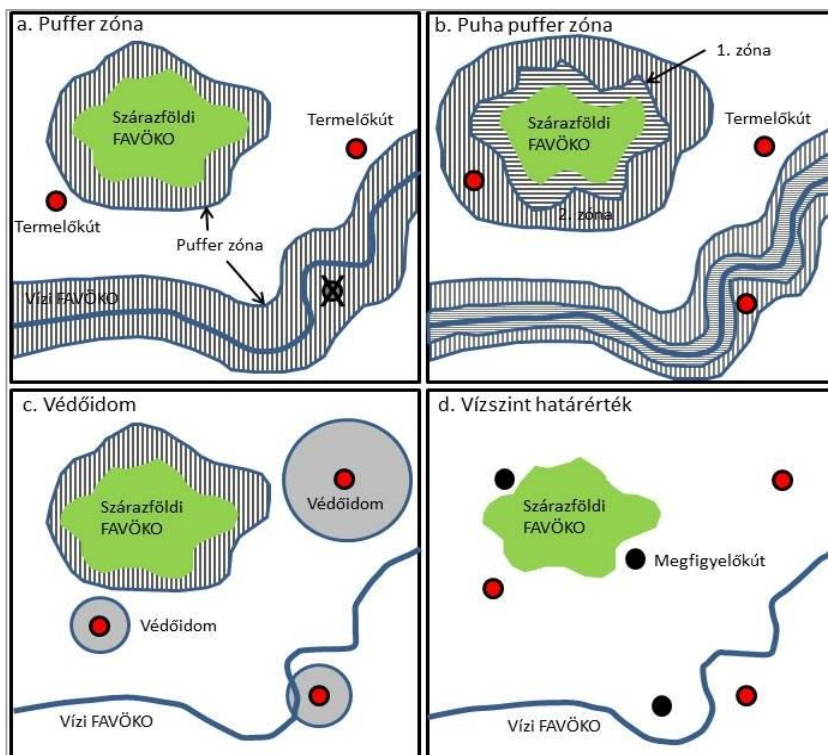
### VÍZKÉSZLET-GAZDÁLKODÁSI ESZKÖZÖK

A környezeti szempontból fenntartható vízkészlet-gazdálkodás célja, a vízkészletek hosszú távú biztosítása és az igények kielégítése a felszín alatti vizektől függő ökoszisztémák megővése mellett.

A vízkészlet-gazdálkodási eszközöknek alapvetően három fajtája különböztethető meg, melyeket a nemzetközi gyakorlatban különböző mértékben és különféle kombinációkban alkalmaznak a vízkészletek védelmére (Noorduijn és társai 2019):

1. vízkivételi korlát,
2. puffer zónák,
3. vízszint korlát.

A fenti vízkészlet-gazdálkodási eszközök alkalmazására mutat szintetikus példákat az 1. ábra.



1. ábra. Szintetikus példák a különböző vízkészlet-gazdálkodási eszközök alkalmazására

(Megjegyzés: A vizsgált terület egy szárazföldi és egy vízi FAVÖKO-t tartalmaz. Puffer zóna (a), puha puffer zóna (b), védőidom (c), vízszint határérték (d). Piros körök: termelőkút, fekete pontok: monitoring kút, vízszintesen csúszott terület: puffer zóna alacsony termelési alokációval, függőlegesen csúszott terület: puffer zóna magas termelési alokációval. Noorduijn és társai 2019 nyomán.)

Figure 1. Theoretical examples of the implementation of the different local-scale management approaches in a management area containing a terrestrial (woodland) and aquatic GDE (river)

(Note: a. buffer zones, b. soft buffer zones, c. resource protection zones (RPZ), and d. groundwater trigger (groundwater level or rate of decline). The red circles indicate groundwater abstraction wells, grey circle indicates that abstraction is not permitted in that location, and black dots represent observation wells. The striped areas represent buffer zones. The maximum permissible rate of abstraction in zone 2 (grey striped area in b) is greater than zone 1 (black striped area also in b) after Noorduijn et al. 2019.)



1. A *vízkvételi korlát* módszere a VKG egységre vonatkozó éves összes vízkvétel mértékének a megengedhető maximumát jelenti. (A VGT2-ben az Mi meghatározásának hiányában ezt a hasznosítható készlet víztest szinten meghatározott mértéke jelenti). Korábban több helyen gyakorlat volt a víztestre számított összes beszivárgás megadása, mint kitermelhető hozam (Bredehoeft 1997). Manapság inkább a beszivárgás egy adott hányadát alkalmazzák ilyen esetben, bár ez sem jelent teljes védelmet (Bredehoeft 1997 és 1997). A vízkvételi korlát módszerének hátránya, hogy nem ad iránymutatást a kitermelés hatására bekövetkező vízszintváltozással kapcsolatban, sem pedig annak térbeli és időbeli eloszlásáról. Egy felszín alatti vizektől függő ökoszisztéma közelében történő kitermelés esetén például azonnali környezeti hatás fordulhat elő úgy, hogy a kitermelt hozam megfelel az igénybevételi határértéknek.

2. A *puffer zónák* alkalmazásának célja, hogy megakadályozzon olyan emberi tevékenységeket ökológiailag sérülékeny területek közelében, amelyek hátrányosan hatnának az adott területre. Példának okáért egy termelőkút minimális távolsága kijelölhető egy FAVÖKO terület határától. Ugyancsak a puffer zónák körébe tartoznak a termelőkutat védőterületei. Egyes szerzők kimutatták, hogy bár egy puffer zóna késlelteti a vízkitermelés FAVÖKO-ra, vagy más receptorra gyakorolt hatását, de nem csökkenti a hosszú távú hatást. A puffer zóna mérete a FAVÖKO terület érzékenysége alapján, vagy a maximálisan megengedhető vízszint süllyedés, vagy hozam csökkenés alapján jelölhető ki, akár analitikus modellek alkalmazásával (pl. Theis egyenlet, Glover és Balmer 1954).

Egy folyóvízi FAVÖKO rendszer leginkább a hosszabb csapadékmentes időszakok során sérülékeny, amikor a hozam kizárólag a felszín alatti vízből származik, és a felszíni hozzájárulás megszűnik, vagy elhanyagolható. Amennyiben a puffer zóna alkalmazásával a vízkivételek a sérülékeny folyótól távolabb helyezkednek el, az öntözési vízkivételek hatása is késleltetve jelentkezik, magasabb folyóvízi hozamok időszakában.

A puffer zónák nemcsak a termelőkutat kizárása útján, de a zónán belüli termelések maximálása útján is alkalmazhatóak (Bekesi és Hodges 2006). Amennyiben a kijelölt puffer zónán belül megengedett a vízkitermelés, de ahhoz hozamkorlátot rendelünk, „puha” puffer zónáról beszélünk.

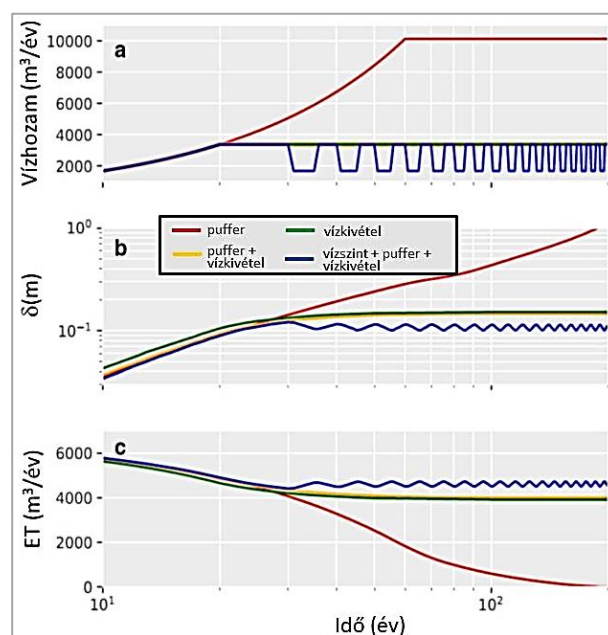
A puffer zónák előnye, hogy könnyen értelmezhetőek, költséghatékonyak. Hátrányuk, hogy a megfelelő puffer zóna kiterjedésének meghatározása nem egyértelmű.

3. A *vízszint korlátok* alkalmazása során minimum potenciálszintet szabunk meg kijelölt monitoring pontokon a vízkitermelések szabályozására. Ennek a módszernek a feltétele, hogy olyan monitoring hálózat álljon rendelkezésre, ami elegendő információt nyújt a kitermelés hatásáról. FAVÖKO-k esetén a monitoring pontnak a termelőkút és az érintett FAVÖKO terület között kell elhelyezkednie. Ugyancsak lényeges a monitorozás megfelelő gyakorisága, hogy a hatásokat időben észleljük.

A vízszint korlátok alkalmazásának előnye, hogy lokális léptékben ható kitermelések hatásának a kiküszöbölésére használhatók, anélkül, hogy a víztest egyéb — lokális kitermeléssel nem érintett — részén indokolatlanul megakadályoznák a vízhasznosítást.

A vízszint korlátok legnagyobb hátránya a magas költség, hiszen megfelelő monitoring hálózatot, és folyamatos monitoring tevékenységet igényelnek, továbbá, hogy a szabályozás követő jellegű, ugyanis kiadott engedélyek visszavonását/korlátozását jelenti.

A 2. ábra a különböző eszközök alkalmazásának hatására kialakuló főbb hidrológiai paraméterek modellezett változását szemlélteti. Egy szintetikus FAVÖKO rendszert az első esetben 500 méteres puffer zónával védünk. A második esetben a puffer zónán kívül, a teljes kitermelhető hozamot a beszivárgás 40%-ában maximáljuk (Mi). A harmadik esetben kizárólag az Mi határértéket alkalmazzuk lokális eszközök nélkül. A negyedik esetben a fentiekén kívül a vízszint csökkenésre 0,5 méteres küszöbértéket alkalmazunk, majd a kitermelhető hozamot megfelezzük, amennyiben a rendszer eléri ezt a küszöbértéket (Noorduijn és társai 2019).



2. ábra. A különféle vízkészlet-gazdálkodási eszközök alkalmazásának hatása.

(Megjegyzés: Szintetikus modell-szimuláció eredménye. Szimulált vízkitermelés hozama (a), Szimulált vízszintcsökkenés (b), szimulált evapotranszpiráció (c) egy FAVÖKO esetében. A puffer zóna szélessége 500 méter. A vízkvéveteli korlát a beszivárgás 40 %-a. A vízszintcsökkenés határértéke 0.5 méter. Piros: puffer zóna, sárga: puffer zóna + vízkvévetel, zöld: csak vízkvévetel, kék: vízszint korlát + puffer zóna + vízkvéveteli korlát alkalmazása. Noorduijn és társai. 2019 nyomán.)

Figure 2. Results of generic groundwater model illustrating impacts of different management approaches

(Note: a. Simulated groundwater abstraction volume, b. decline in groundwater level ( $\delta h$ ) and c. decline in evapotranspiration (ET) for the groundwater-dependent ecosystem. The buffer zone excludes wells within 500 m of the GDE. The volumetric (volume) approach limits the total volume of abstraction to 40% of recharge. The water level trigger approach uses a drawdown threshold of 0.5 m at observation wells. Buffer zone approach (red line); buffer + volume approach (yellow line); the volumetric (volume) approach (green line), combined approach (blue line) after Noorduijn et al. 2019.)

A példa jól szemlélteti a puffer zónák használata esetén a vízszintek csökkenését, ellentétben a vízkivételi korlátok alkalmazása esetén kialakuló vízszintekkel. Látható, hogy a puffer zónával önmagában nem érhető el a FAVÖKO hosszú távú védelme, mert – ugyan eleinte védelmet ad – de idővel a nagy területre érvényes korlát szerinti vízkivétel hatása eléri a FAVÖKO környezetét is, a FAVÖKO talajvízből történő vízellátása pedig megszűnik ( $ET = 0$ , 2/c. ábra).

A vízkivételi korlát önmagában való alkalmazása nem szabályozza azt az időtartamot, ami alatt a vízkivétel receptorokra gyakorolt hatása (hozamcsökkenés, vízszintcsökkenés) kialakul. Amennyiben az adott vízkivétel a receptor közvetlen környezetében történik, a hatás akár azonnali is lehet. A vízkivételi korlát egyedüli alkalmazása nagyléptékű vízgazdálkodási terv alapját képezheti, azonban amennyiben nem egészül ki egyéb indikátor alkalmazásával, nem nyújt elegendő védelmet a receptoroknak (FAVÖKO rendszerek, vízhasználatok).

A vízszint határértékek alkalmasak lehetnek arra, hogy megfelelő védelmet nyújtsanak. Hátrányuk a megfelelő küszöbértékek és monitoring pontok meghatározásának módja, illetve a magas költség. Problémát jelenthet, hogy a vízkivétel megszüntetése vagy csökkentése után a vízszintek tovább csökkenhetnek (Noorduijn és társai 2019). Továbbá a vízszint határértékek módszere csak követő jelleggel szabályoz, és a kiadott engedélyek utólagos felülvizsgálata problematikus lehet.

Az eszközök együttes használatával mind a FAVÖKO számára szükséges vízszintek biztosíthatók, mind pedig a kitermelt hozam maximálható. A 2. ábrán látszik, hogy egy alacsonyabb szinten megállapított  $M_i$  stabilizálni tudja a vízszintet is, és meghagy bizonyos párolgási többletet is a FAVÖKO számára.

A megfelelő vízkészlet-gazdálkodás érdekében a fenti módszereket egymással kombinálva érdemes alkalmazni, azért, hogy a vízkészletek elosztása mellett a lokális hatások is nyomon követhetők és kezelhetők legyenek. Mindez a felszín alatti vízrendszer alapos megértését és megfelelő koncepcionális modell felállítását igényli.

### FAVÖKO-k

A felszín alatti vizektől függőnek tekinthető minden olyan vízi ökoszisztéma, ahol állandóan, vagy az év valamely időszakában a vízhozam, vagy a vízszint alakulásában a felszín alatti víz számottevő szerepet játszik. A vizes és szárazföldi ökoszisztémák közül pedig a felszín alól származó állandó, vagy időszakos felszíni vízborítást, folytonos, rendszeres, vagy eseti kapilláris talajvízhatást igénylő fajokat reprezentáló társulások sorolhatók ide. Kiindulási alapként tekintjük a KvVM TVH Tudományos Bizottsága által jóváhagyott, természetvédelmi szempontból összeállított FAVÖKO-listát, amely az országos élőhely térképezés számára felállított ún. Á-NÉR-listából 8 csoportban összesen 37 élőhelyet említ. A VKI „wetland”-ekkel foglalkozó útmutatójával összhangban, gazdasági és tájökölógiai szempontok alapján az erdőterületek, a nagy kiterjedésű rétek és legelők, valamint a szántóföldi területek élő- és

termőhelyei közül azokat, ahol a definíció szerinti talajvíz-hatás fennáll, ugyancsak ide sorolhatjuk.

A FAVÖKO-k mennyiségi állapotának meghatározásával kapcsolatos módszertant a VGT2 6-5-4-háttéranyag (OVF 2015, Gondár és társai 2015) tartalmazza. Eszerint a FAVÖKO-k tipizálásának eredményeként 4 kategória különböztethető meg:

- a) állóvizek: összefüggő nyíltvizek, amelyek tájban való elhelyezkedésük alapján lehetnek édesvízi és szikes tavak, vagy mentett oldali holtágak;
- b) lápok és mocsarak: szikes, vagy édesvízi vizenyős területek, jellemzően csak időszakos vízborítással, jelentős makrovegetációval;
- c) nedves gyepek: láprétek és mocsárrétek;
- d) erdők.

A FAVÖKO-k állapotának biztosítására az alábbi indikátorok alkalmazhatóak:

Az erdős területeken, ahol a talajvíz szerepet játszik az erdő vízellátásában, a kívánatos terep alatti talajvízállástartományok és a vízjárásra vonatkozó követelmények alkalmazhatók:

- A mezőgazdasági területeken növénycsoportok szerint a többlet vízigény értékei, növény – talaj kombinációkra pedig a kívánatos terep alatti víz-állás.
- A dombvidéki, a hátsági és a síkvidéki területeken alaphozamra és a talajvízből származó párolgásra vonatkozó, az utánpótlódás arányában megadott, víztest szintű becslések.
- A nagy forrásokra a csatlakozó felszíni vizek ökológiai igényei alapján adhatók meg a forráshozamra vonatkozó egyedi követelmények, amelyek az időbeli változások megengedhető mértékét is magukba foglalják.
- A felszíni vizek esetében a vízjárásra vagy vízállásra vonatkozó referencia értékekből lehet levezetni a környezet felszín alatti vizeire vonatkozó követelményeket.

Hidrológiai/hidraulikai kritérium lehet egy küszöbérték, vagy a zavartalan állapothoz képest elfogadható mértékű változás is. Ez utóbbi felfogható a biotópnak a felszín alatti víz állapotváltozásaival szembeni tűrőképességeként is. A változásra vonatkozó kritérium egyben a zavartalan állapot leírását is szükségessé teszi, hiszen a tolerálható változás csak ehhez képest értelmezhető (Simonffy 2005).

A hidrológiai/hidraulikai állapotjellemzők közötti összefüggéseket is figyelembe kell/lehet venni: pl. (i) a talajvízforgalom és a talajvízszint kapcsolata, (ii) a vízfolyás kisvízi hozamának függése a talajvízből származó alaphozamtól, illetve a mederközei talajvízszintektől, (iii) a sekély tavak vízjárása és a környező talajvízszint-változások kapcsolata.

A felszín alatti vizek vízháztartási és potenciálviszonyait több ok együttes hatása alakítja (ezek között szerepel a természetes változékonyság is). A vízkivétel – vagy bármely más ok – hatása általában modellezési technikákkal elkülöníthető, de a nem-lineáris folyamatok miatt a többi

hatástól függetlenül nem vizsgálható. Ebből az is következik, hogy a kritérium (akár küszöbérték, akár elfogadható változás) az eredő hatásokra vonatkozik, így azt külön a vízkivételre kvantifikálni csak modellezési módszerekkel lehet.

## INDIKÁTOROK

A leírtaknak megfelelően alapvetően négyféle indikátor alkalmazható a hidrogeológiai gyakorlatban egy víztest állapotának számszerűsítésére vonatkozóan:

- vízszint (változó, vagy konstans),
- felszíni vízbe jutó felszín alatti vízhozam (alaphozam),
- forráshozam,
- egyéb fizikai-kémiai paraméterek (pl. hőmérséklet, fajlagos elektromos vezetőképesség, szalinitás, vízösszetétel).

Ezen indikátorok a korábbi fejezetben felsorolt vízkészlet-gazdálkodási eszközök fokmérői, melyek segítségével jellemezni lehet a víztestnek, vagy egy részének állapotát. Az indikátorok használata küszöbértékek meghatározását is igényli.

A Mennyiségi Igénybevételi Határérték meghatározására használt modellezés során a fenti indikátorokat alkalmazzuk arra, hogy — a megfelelő küszöbértékek segítségével — a víztestből, vagy annak egy részéből (a receptorok károsodása nélkül, fenntartható módon) kitermelhető összes vízmennyiséget (Mi) meghatározzuk.

Az indikátorok és a küszöbértékek helyes megválasztásával nemcsak a víztestből kitermelhető összes hozamot tudjuk meghatározni, de a megengedhető víztermelések tér és időbeli eloszlását is.

## KÜSZÖBÉRTÉKEK

A megfelelő indikátorok és az azokhoz tartozó küszöbértékek megválasztása gondos mérlegelést igényel, ami az érintett szakterületek (hidrológia, hidrogeológia, ökológia stb.) szakembereinek bevonását igényli. Minden vízgyűjtő, vagy víztest egyedi elbírálást igényel, hiszen a hidrogeológiai és ökológiai viszonyok erősen eltérőek lehetnek.

Tekintve, hogy a különböző VKG egységekre vonatkozóan a küszöbértékek egyedi megállapítása szükséges, ezt a munkafolyamatba kell beépíteni.

Javaslatunk szerint, a kijelölt indikátorok jóváhagyásához, a szükséges monitoring implementációjához és a küszöbértékek meghatározásához az érintett hatásviselők jellegétől függően az alábbi szervezetek bevonása szükséges:

- Országos Vízügyi Főigazgatóság,
- Területileg illetékes Vízügyi Igazgatóság,
- Nemzeti Park,
- MTA Ökológiai Kutatóközpont,
- MTA Agrártudományi Kutatóközpont,
- Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat.

A küszöbértékek megállapítása során figyelembe kell venni az érintett ökoszisztémák vízigényét, a vízhasználók igényeit, illetve egyéb környezeti és esztétikai szempontokat is.

A küszöbértékek megállapításához és az Mi határértékek modellvizsgálatokkal történő megállapításához kiterjedt adatszolgáltatásra van szükség, ami nélkül a feladat nem oldható meg kielégítően. Az adatszolgáltatók közül az alábbiak bevonása lehet szükséges a folyamatba:

- Országos Vízügyi Főigazgatóság,
- Területileg illetékes Vízügyi Igazgatóság (szükség szerint kiegészítve a Vízművek, Katasztrófavédelem és a jelentősebb vízhasználókkal),
- Környezetvédelmi Hatóság,
- Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat,
- Nemzeti Park.

## NUMERIKUS MODELLEZÉS

A nagy területi kiterjedés, az egymásra ható természetes hidrogeológiai folyamatok és mesterséges beavatkozások, valamint többféle indikátor párhuzamos alkalmazásának szükségessége miatt az Mi határértékek meghatározása elsősorban numerikus modellek segítségével valósítható meg. Az Mi határérték meghatározásának javasolt folyamatsora az alábbi:

1. A vizsgálni kívánt terület lehatárolása,
2. A terület felmérése, adatgyűjtés, vízfelhasználók és hatásviselők (FAVÖKO) azonosítása,
3. A terület koncepcionális modelljének megalkotása,
4. A környezeti indikátorok kiválasztása (vízhozam, vízszint stb.) az érintett szakmai szervezetek bevonásával,
5. Monitoring adatok beszerzése, szükség esetén monitoring objektumok kiépítése, adatgyűjtés,
6. A küszöbértékek meghatározása az érintett szakmai szervezetek bevonásával,
7. Numerikus modellezés,
8. Eredmények értékelése, termelési határértékek felállítása.

Az Mi mennyiségi igénybevételek meghatározása modellezési szempontból egy optimalizációs feladat. Az optimalizáció során a cél annak a legnagyobb kitermelhető vízmennyiségnek a meghatározása, amely még teljesíti az indikátorokra vonatkozó kritériumokat, mint az optimalizáció feltételeit. Éppen ezért rendkívül lényeges, hogy a környezeti indikátorokat, és az azokhoz tartozó küszöbértékeket jól válasszuk meg. Nem megfelelően megválasztott indikátorok és küszöbértékek esetén ugyanis vagy a kitermelhető hozamot becsüljük alul, vagy a hatásviselők megfelelő védelme szenved kárt.

A modellalkotás során az alábbi lépéseket követjük:

1. Koncepcionális modell finomítása, adaptációja,
2. Modellgeometria és diszkretizáció meghatározása,
3. Paraméterezés,
4. Kezdeti és peremfeltételek megadása,
5. Modell kalibráció,
6. Érzékenységi vizsgálat,
7. Modell előrejelzések,
8. Eredmények értékelése.

### Koncepcionális modell

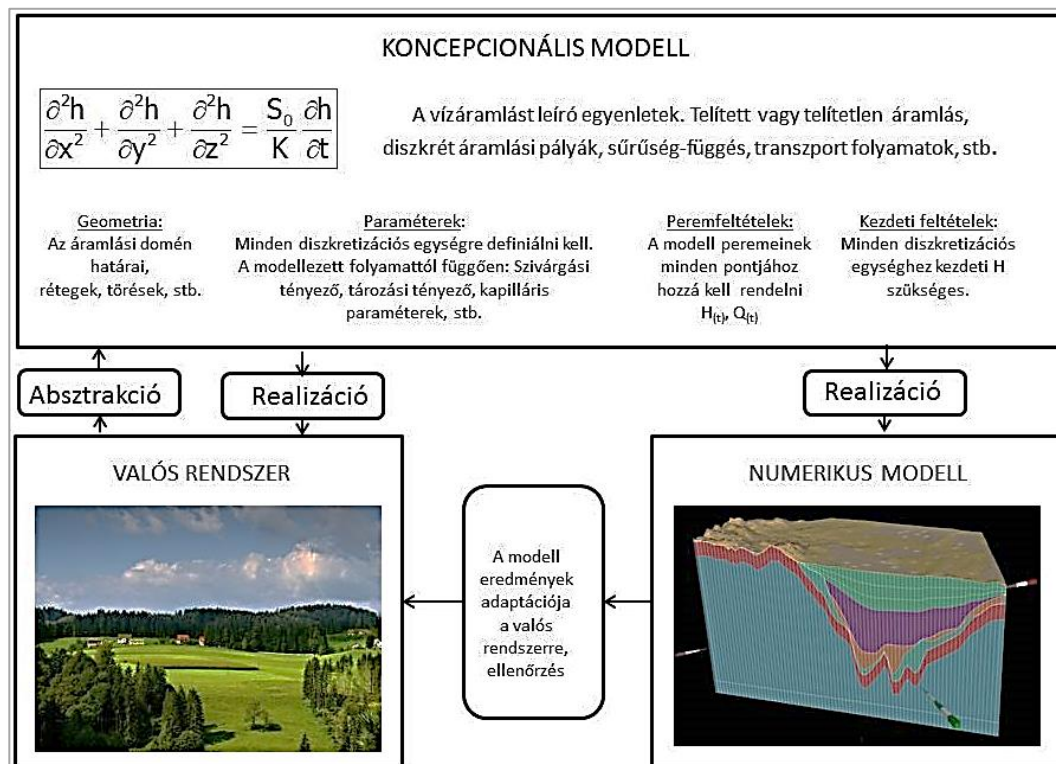
A koncepcionális modell célja a hozzáférhető adatok és terepi észlelések alapján a hidrogeológiai rendszer működésének megértése, és a numerikus modell számára

szükséges formában történő megfogalmazása. A koncepció alkotás során az egyszerűség elvét érdemes követni. Gyakran hivatkozott megközelítés az Ockham borotvája filozófiai elv, amely szerint két, az adott jelenséget egyformán jól leíró magyarázat közül azt érdemes választani, amelyik az egyszerűbb. „*Pluralitas non est ponenda sine necessitate*” azaz „*A sokaság szükségtelenül nem tételezendő*”. Mindemellett a koncepcionális modellnek tartalmaznia kell azokat a földtani elemeket és fizikai folyamatokat, amelyek hatással vannak a modellezés célját képező hidrogeológiai jelenségekre vagy változókra.

A koncepció alkotás folyamatát a 3. ábra szemlélteti. A koncepcionális modell elemei:

- Geometria,
- Hidraulikai paraméterek (K, S),
- Peremfeltételek,
- Kezdeti feltételek,
- Az alkalmazott áramlási egyenlet.

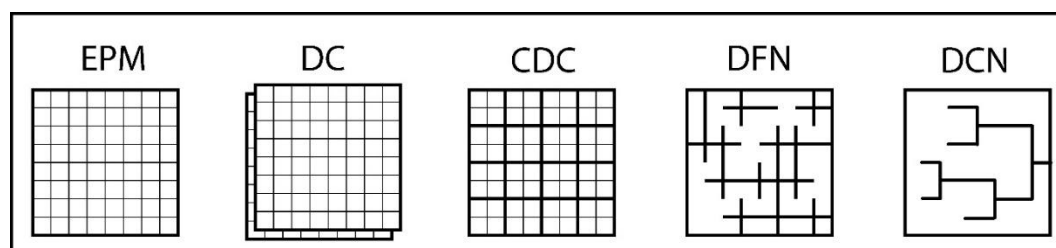
A koncepcionális modell a valós rendszerről alkotott képünk, melyet absztrakció útján nyerünk. A koncepcionális modell matematikai megvalósulása a numerikus modell. A numerikus modell eredményeit minden esetben összehasonlítjuk a valós rendszerrel (mért jellemzők), majd a kívánt egyezés eléréséig a koncepcionális illetve a numerikus modellünk egyes elemeit (többnyire a peremfeltételeket és a hidraulikai paramétereket) módosítjuk mindaddig, míg a modell eredmények megfelelő egyezést nem mutatnak a megfigyelésinkkel. Ezt a folyamatot nevezzük kalibrációnak.



3. ábra. A modellezés folyamata és a koncepcionális modell elemei (Forrás: Király 1994)  
Figure 3. The elements of a conceptual model and the modelling process (Source: Király 1994)

A koncepcionális modell alkotás egyik fontos része a modell dimenziószámának előzetes meghatározása és a modellezendő térnek a lehatárolása, valamint a hidrogeológiai rendszer leírására alkalmas egyenletek és matematikai számítási eljárás kiválasztása. Ez egyben az alkalmazott szoft-

ver megválasztását is jelenti. Kovács és Sauter (2008) a modellezési módszereket öt csoportba sorolta (4. ábra). Minden egyes módszer különböző fizikai folyamatok szimulációjára alkalmas, ezért lényeges a megfelelő módszer – és így az alkalmazott szoftver – megfelelő kiválasztása.



4. ábra. A hidrogeológiai gyakorlatban alkalmazott modellezési módszerek osztályozása (Forrás: Kovács és Sauter 2008)  
(Megjegyzések: EPM – Ekvivalens porózus médium, DC – Dupla kontinuum, CDC – Kombinált diszkrét-kontinuum, DFN – Diszkrét töréshálózat, DCN – Diszkrét csőhálózat módszerek.)

Figure 4. Classification of numerical modelling methods (Source: Kovács and Sauter 2008)  
(Notes: EPM – Equivalent Porous Medium Approach, DC – Double Continuum Approach, CDC – Combined Discrete-Continuum Approach, DFN – Discrete Fracture Network Approach, DCN – Discrete Conduit Network Approach)



Az egyes modellezési módszerek különböző vízádók esetén történő alkalmazhatóságát az 1. táblázat szemlélteti. Míg porózus rendszerek nagyléptékű (regionális) modellezésére az EPM módszer alkalmas, addig például karsztrendszerek modellezése a diszkrét elemek (karsztjáratok) szimulációját is megkívánja. Ilyen esetben a CDC módszer alkalmazása válik szükségessé. Habár karsztok esetében a DC modell is kalibrálható, ez nem adja vissza a valós fizikai folyamatokat, és a DC modell tartalma a kalibrációs adatok függvénye. Hasadozott rendszerek esetében a DFN módszer alkalmazása válhat szükségessé, főként lokális léptékben, és szennyezőanyag transzport szimulációja esetén. A DCN módszer kizárólag lokális léptékben alkalmazható a karsztjáratokban lezajló folyamatok modellezésére, de mivel a közetmátrixban lezajló áramlást elhanyagolja, nem alkalmas a teljes rendszer működésének leírására. Az erősen heterogén rendszerek kritikus csoportját alkotják a dolomitos vízádók. Ezek a hidrogeológiai rendszerek egyes esetekben karsztosodnak, míg más esetekben repedezett rendszerként viselkednek. Amennyiben karsztos hidraulikai működést mutatnak, úgy CDC módszer alkalmazása szükséges. Amennyiben nem mutatható ki hidraulikai alapon karsztosodottság, úgy EPM módszerrel modellezhetők (Kovács 2003, Kovács és társai 2005).

1. táblázat. Az egyes modellezési módszerek alkalmazhatósága vízádó típusonként  
Table 1. Applicability of numerical modelling approaches for various hydrogeological systems

Vízádó típus	EPM	DC	CDC	DFN	DCN
Porózus vízádók	igen	nem	igen	nem	nem
Karsztok	nem	igen	igen	nem	igen
Hasadozott vízádók	igen*	nem	igen*	igen*	igen*

\* A módszer alkalmazhatósága függ a modell léptékétől és a modellezni kívánt folyamattól.

A jelenlegi hazai gyakorlatban használt szoftverek közül a MODFLOW különféle verziói, illetve a FEFLOW használatos hidrogeológus körökben. A MODFLOW kizárólag az EPM módszer implementációját teszi lehetővé, ami az esetek túlnyomó részében elegendő a porózus rendszerek regionális modellezésére. A szoftver előnye a könnyű kezelhetőség, hátránya a diszkretizáció rugalmatlansága (FDM), valamint a véges differenciák miatt a modellbe bevitt mesterséges anizotrópia, ami azonban regionális léptékben elhanyagolható.

A FEFLOW előnye a rugalmas diszkretizáció (FEM), illetve a különböző dimenziószámú véges elemek kombinálhatósága, ami a CDC módszer alkalmazását lehetővé teszi. További előnye, hogy a sűrűségfüggő és termális folyamatok szimulációjára is alkalmas. Hátránya, hogy nagyfokú gyakorlatot és szaktudást igényel, valamint a területi vízmérlegek számítása pontatlanabb, mint a MODFLOW esetében. Egyes vízádó típusok realisztikus modellezése (pl. karszt) azonban nem lehetséges hagyományos MODFLOW környezetben.

Regionális porózus rendszerek modellezésére tehát, vagy a MODFLOW, vagy a FEFLOW kódokat javasoljuk. Geotermális és karsztos rendszerek modellezésére a FEFLOW kódot javasoljuk.

Amennyiben kapcsolt felszíni és felszín alatti vízáramlás integrált modellezése válik szükségessé, a MIKE-SHE, vagy HYDROGEOSPHERE kódok alkalmazása válik szükségessé, ezek a modellek – a komplexitásuk és adatigényük miatt – azonban előre láthatóan korlátozott mértékben alkalmazhatóak hatósági feladatok időhatékony végrehajtására.

#### Modellgeometria és diszkretizáció meghatározása

A modellterület kiválasztása során figyelembe kell venni a feladatban meghatározott térrész (víztest vagy annak egy része) kiterjedését, valamint a lehetséges vízhasználatok és hatásviselők elhelyezkedését, a vízhasználatok

hatásának (depressziók) aktuális és várható kiterjedését, valamint az alkalmazható peremfeltételek térbeli helyzetét. A modell területet úgy kell megválasztani, hogy természetes peremfeltételek alkalmazása legyen lehetséges, és a modell megfelelő puffer zónát tartalmazzon a perem hatások elkerülése érdekében.

A modell dimenziószámát a modellezni kívánt folyamatok és a geológia szabja meg. Sekély rendszerek lokális léptékű modellezéséhez 2D modellek alkalmazása is elegendő lehet, azonban rétegzett mélységi rendszerek, geotermális folyamatok, valamint vertikális áramlási komponensek esetén 3D modellek alkalmazása szükséges.

A modell diszkretizációját a modell méretaránya és a modellezett folyamat, valamint a számítási kapacitás szabja meg. A véges elemek előnye, hogy a diszkretizáció térben változtatható, és a helyi viszonyokhoz szabható, ami lényeges előnyt jelent. Például egy termelőkút, vagy kapcsolt felszíni víztest környezetében finomabb diszkretizáció alkalmazható.

A véges elemek módszerének további előnye, hogy lehetőség nyílik strukturálatlan végelemek-hálók alkalmazására, ami megoldást jelent a kiékelődő rétegek, illetve a vetők menti elmozdulások megfelelő geometriai kezelésére. A véges differenciáknál kedvezőbb diszkretizáció érhető el a véges térfogatok alkalmazásával is, melyet többek között a VISUAL MODFLOW FLEX szoftver is lehetővé tesz.

#### Paraméterezés

A modell paraméterek meghatározása alapvetően hidraulikai tesztek alapján történik. Amennyiben ilyen nem áll rendelkezésre, az adott területre, vagy az adott vízádóra vonatkozó korábbi adatok, irodalmi értékek alapján lehet a paramétereket definiálni. Az alkalmazott paraméterek a modell kalibrációja során módosulnak.

Míg a vezetőképesség értékei az esetek nagy részében jól közelíthetők, a tározási paramétereket illetően kevesebb adat áll rendelkezésre, kevesebb az ilyen irányú hidraulikai teszt, és emiatt nagyobb az adatok bizonytalansága. A tranziens modellek — az egyéb tényezők mellett — tehát jóval több bizonytalanságot hordoznak, mint a stationárius szimulációk.

### Kezdeti és peremfeltételek megadása

A realisztikus kezdeti feltételek permanens szimulációk esetén a megoldási algoritmust segítik, de nem befolyásolják a modell eredményét, mindössze gyorsabb futtatási időt eredményeznek. Tranziens szimulációk esetén a kezdeti feltételek a modellezett változások kiinduló pontját jelentik, így nagyban megszabják a modell eredményeket. A legtöbb esetben kezdeti feltételnek a természetes állapotra számított permanens modell eredményeit alkalmazzuk, hiszen minden egyéb potenciál-eloszlás (pl. mért adatokból interpolált) belső inkonzisztenciát hordoz, és torz modell eredményekhez vagy a numerikus megoldás sikertelenségéhez vezethet.

Fontos tehát olyan időszak kijelölése, amikor a termelések vagy elhanyagolhatók vagy állandóak voltak, és feltételezhető volt a rendszer kvázi-permanens állapota. A permanens modell kalibrációt érdemes ilyen időszakra elvégezni, és a tranziens szimulációt innen indítani.

A peremfeltételek megfelelő megválasztása csak helyesen megalkotott koncepcionális modell és a szükséges adatok rendelkezésre állása esetén lehetséges. Mindig törekedni kell a természetes peremfeltételek alkalmazására, és arra, hogy ne „definiáljuk túl” a modellt. Egy négyszögletes modell terület, amely konstans potenciál peremfeltételekkel van körülhatárolva értelemszerűen érzéketlen lesz a hidraulikai paraméterekre, és emiatt előrejelzésekre sem használható megbízhatóan.

A peremfeltételeknek három alapvető fajtája van:

1. típusú peremfeltétel: *Dirichlet* vagy potenciál perem. Ez a leggyakrabban alkalmazott peremfeltétel, mivel a potenciál könnyen mérhető. Ismert potenciálú helyeken (pl. folyó, forrás, tó stb.) alkalmazzuk.

2. típusú peremfeltétel: *Neumann* vagy fluxus perem: Itt a peremen átfolyó fluxust definiáljuk. Amennyiben nincs a peremen átfolyó fluxus, szintén ezt a peremfeltételt alkalmazzuk, vagyis „vízzárónak” feltételezzük az adott perem szakaszt. Ilyen peremet alkalmazunk pl. vízválasztónak feltételezett zónákban, vízrekesztő képződmények mentén, ismert hozamú zónákban.

3. típusú peremfeltétel: *Cauchy* vagy kombinált potenciál és gradiens perem. Ebben az esetben mind a potenciált, mind pedig a gradienst definiáljuk, ami egy konduktancia paraméter megadásán keresztül történik. Ilyen típusú peremfeltételt tartalmaznak a LAKE, DRAIN, RIVER stb. peremfeltételek.

### Modell kalibráció

A modell kalibráció a modellezési folyamat legkritikusabb és legidőigényesebb fázisa. Ennek során a modelleredményeket összevetjük a mért potenciálszintekkel, vagy hozamokkal és a modell paramétereket — illetve a

kalibráció korai fázisában akár a peremfeltételeket — módosítjuk, hogy a modell eredményeket a mérésekhez minél közelebb hozzuk.

A kalibráció nagymértékben függ a rendelkezésre álló adatok mennyiségétől, területi elhelyezkedésétől és minőségétől. A kalibrációt először „manuálisan”, vagyis a paraméterek szisztematikus változtatásával kezdjük. A kalibráció jelentősége — a modell finomításán túl — hogy a modellező közvetlen információt kap a rendszer reakcióról, ami nagyban segíti a hidrogeológiai folyamatok és az adott szituáció megértését. A kalibráció tehát az egyik leghatékonyabb hidrogeológiai tanulási folyamat. Amennyiben a manuális kalibráció elérte a megfelelő szintet, automatizált kalibrációs eljárásokat alkalmazhatunk a modell pontosságának javítására. A leggyakrabban alkalmazott szoftver a PEST.

A PEST (WNC 2004) egy nem-lineáris paraméterbecslő kód, ami a Gauss-Marquand-Levenberg módszer alapján a legkisebb négyzetek módszerével minimalizálja a mért és számított értékek közötti eltéréseket.

A modell kalibrációt kalibrációs statisztikával szükséges jellemezni. A kalibrációs statisztika ad információt a modell „jószágáról”, ami az eredmények megbízhatóságát nagymértékben jellemzi, tehát nem elkerülhető.

Az elsődleges módszer a modell kalibráció jellemzésére a Négyzetes Középtérték Hiba (Root Mean Square Error, RMS). Az RMS – vagy standard deviáció – az alábbiak szerint számítható:

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{calc} - x_{obs})^2}{n}}$$

ahol  $n$  a kalibrációs adatok száma. A másik, a kalibráció minőségét jellemző módszer a Normált Négyzetes Középtérték Hiba (Scaled Root Mean Square Error, SRMS):

$$SRMS = \frac{RMS}{(X_{obs})_{\max} - (x_{obs})_{\min}}$$

### Érzékenység vizsgálat

Az érzékenység vizsgálat célja azon paraméterek azonosítása, amelyek leginkább befolyásolják a vízáadó viselkedését. Ezáltal fókuszálhatóak a monitoring vizsgálatok, és a terepi vizsgálatok is, valamint nagyban segíti a modell kalibrációját is. Az érzékenység vizsgálat elvégezhető manuálisan a legfontosabb modell paraméterek szisztematikus változtatása és az eredmények kiértékelése útján. Ilyenkor a kulcs paramétereket szorzóval látjuk el (pl.  $K \cdot 5$ ,  $K \cdot 0,5$  stb.), és a modellt minden kombinációra lefuttatjuk és értékeljük. Az az adott paraméter érzékenysége számszerűsíthető az RMS vagy SRMS hiba alapértéktől való eltérésének és a paraméter alapértéktől való eltérésének a hányadosaként.

A PEST alkalmazásának előnye, hogy a PEST futtatás során elvégzi az érzékenység vizsgálatot, és kiszámítja annak paramétereit.

### Modell előrejelzések

A modell előrejelzések során előre felállított forgatókönyveket szimulálunk, amihez a korábban felépített és kalibrált numerikus modellt használjuk. Az előrejelzések kezdeti feltétele lehet a kalibrációs modell kezdeti eloszlása, amennyiben az előrejelzés időszakát egyben szimuláljuk a kalibrációs időszakkal, de a kalibrációs modell utolsó időlépcsője is használható erre a célra, amennyiben külön futtatást alkalmazunk az előrejelzésekre.

Ugyancsak lényeges eleme a modellezési folyamatnak, hogy a modell előrejelzéseket „összevessük” a valósággal, azaz a modellt validáljuk. Ilyenkor a rendelkezésre álló mérési adatsor egy részét nem használjuk fel a kalibráció során, azt az előrejelzések ellenőrzésére tartjuk fenn. Az előrejelzési forgatókönyveket úgy kell összeállítani, hogy azok választ adjanak a feltett kérdésekre. Az Mi meghatározása szempontjából ez azt jelenti, hogy előre meghatározott termelési forgatókönyvek hogyan befolyásolják a modellbe beépített indikátorok jövőbeni értékét? Például egy FAVÖKO rendszerbe beáramló felszín alatti víz hozamát, vagy egy kijelölt monitoring ponton a potenciál érték időbeni alakulását.

A futtatás során a modell kiszámítja az indikátorok értékét, és így lehetőséget ad a termelési forgatókönyv „optimalizálására”. Több szimulációs körön keresztül nemcsak egy adott termelési szcenárió környezeti hatása értékelhető, de a termelt hozamok mennyisége, térbeli és időbeli eloszlása is optimalizálható.

A numerikus modellek ezzel hatékony eszközt jelentenek a vízkészlet-gazdálkodás szempontjából.

### Eredmények értékelése

A kiértékelés folyamán összegezzük és ábrázoljuk az eredményeket, ezeknek alapján megadjuk a feltett kérdésekre a választ. A kiértékelési fázis feladata megfogalmazni a számítások korlátjait, összegezni az elkerülhetetlenül elkövetett hibákat, egyszerűsítéseket, megadni a felsorolt tényezők eredményre gyakorolt hatásait. A jelentésnek tartalmaznia kell a modell kalibrációs statisztikáját is. A munka lezárásaképpen elkészítjük a modell teljes és részletes dokumentációját. A dokumentációnak minden lényeges kérdésre kiterjedőnek kell lennie. Ismertetnie kell a kialakított modellkonceptiót, a figyelembe vett adatokat, az alkalmazott feltételezéseket és paramétereket. A dokumentációnak olyan mértékig részletesnek kell lennie, hogy a modell felépítése teljesen rekonstruálható legyen.

### ÖSSZEFOGLALÁS

A jelen tanulmányban felvázoltuk a Mennyiségi Igénybevételi Határérték meghatározására alkalmas módszertant. Mindezek alapján szükséges az Mi pontosabb definíciója: a Mennyiségi Igénybevételi Határérték (Mi) egy vízhasználatához vagy több vízhasználatot tartalmazó hidrogeológiai egységhez rendelt vízhozam idősor, amelynek megfelelő víztermelés engedélyezhető egy adott időtartamon belül, úgy, hogy a kiválasztott vízhasználatához vagy hidrogeológiai egységhez rendelt és annak bármely részén fellépő víztermelés(ek) hatása a kijelölt receptorokat (egyéb víztermelések, FAVÖKO-ok) nem veszélyezteti(k), a víz-

termelés(ek) következtében fellépő fizikai változások a receptorokhoz rendelt indikátorokra vonatkozó küszöbértékeket nem lépik túl.

Az Mi meghatározása a termelések tér és időbeli eloszlására vonatkozó forgatókönyvek felállítása és a hatások modell szimulációval való ellenőrzése útján lehetséges. Az értékeléshez szükséges a potenciális hatásviselők azonosítása és vizsgálata, azért, hogy azok terhelhetőségére vonatkozó megfelelő indikátorok és az azokhoz tartozó küszöbértékek meghatározhatóak legyenek.

Javaslatunk szerint a megfelelő indikátorokra a modellező tegyen javaslatot, majd pedig a megfelelő szakmai szervezetekkel való egyeztetés során történjen meg az indikátorok jóváhagyása, és az azokra vonatkozó küszöbértékek meghatározása.

Indikátorként vízszint, vízhozam és vízkémiai (illetve hőmérséklet) jellemzők alkalmazhatók, amelyekhez a megengedhető hatások alapján küszöbértékek adhatók meg. A nemzetközi szakirodalom és a vonatkozó vizsgálatok szerint a vízkészlet-gazdálkodási eszközök együttes alkalmazása képes megfelelő védelmet adni a potenciális hatásviselőknek, és egyben biztosítani a vízkitermelések zavartalanosságát.

A modellezés során szükséges a vizsgált terület lehatárolása és koncepcionális modelljének megalkotása. Az alkalmazott numerikus modellezési módszert a modellezni kívánt vízadó hidrodinamikai jellegzetességei alapján kell megválasztani. Ez különösen fontos karbonátos vízadók vizsgálata esetén. A modellezés során a numerikus modellt a földtani-vízföldtani viszonyoknak megfelelően határoljuk le, alakítjuk ki a modell geometriát, a peremfeltételeket meghatározzuk, és a modellt a rendelkezésre álló adatsorok (vízszint, vízhozam stb.) alapján kalibráljuk. A modell előrejelzéseket a kalibrált modell segítségével hozzuk létre.

A modell eredmények alapján lehetőség nyílik — a vizsgált hidrogeológiai egységen belül — a termelési forgatókönyvekben foglalt vízkivételek, illetve azok tér és időbeli eloszlásának optimalizálására, szükség szerinti differenciálására, a hatásviselőkre vonatkozó küszöbértékek teljesülésének ellenőrzésére alapozva, ami nagyban segíti a hatékony, hosszútávon fenntartható vízgazdálkodási koncepció felállítását és annak megvalósítását.

### IRODALOMJEGYZÉK

- Bekesi G, Hodges S (2006). The protection of ground-water dependent ecosystems in Otago, New Zealand. *Hydrogeol J.* 14:1696–1701.
- Bredehoeft, J.D. (1997). Safe yield and the water budget myth. *Ground Water* 35:929.
- Bredehoeft J.D. (2002). The water budget myth revisited: why hydrogeologists model. *Ground Water*.
- Glover R.E., Balmer G.G. (1954). River depletion resulting from pumping a well near a river. *EOS Trans Am Geophys Union* 35:468–470.
- Gondár, K., Király Zs., Könczöl N., Molnár M., Tóth Gy., Ács T., Kozma Zs., Muzelák, B., Simonffy, Z., Szalay, M. (2015). Vízyűjtő-gazdálkodási Terv: Felszín alatti vi-

zek mennyiségi állapotának meghatározása 6-5-4 háttéranyag. A felszín alatti víztől függő ökoszisztémák ökológiai vízigényének meghatározása.

Király, L., (1994). Groundwater flow in fractures rocks: models and reality. In: 14<sup>th</sup> Mintrop Seminar über Interpretationsstrategien in Exploration und Produktion, Ruhr Universität Bochum 159, 1-21.

Kovács, A. (2003). Geometry and hydraulic parameters of karst aquifers: A hydrodynamic modelling approach. Ph.D. thesis, CHYN, University of Neuchatel, Switzerland. 131p. Available online at <http://doc.rero.ch/search.py?recid=2603&ln=fr>

Kovács, A., Perrochet, P., Király, L., Jeannin, P.-Y. (2005). A quantitative method for the characterization of karst aquifers based on spring hydrograph analysis. Journal of Hydrology, Vol. 303, pp. 152-164.

Kovács, A., Sauter, M. (2007). Modelling karst hydrodynamics. In: Methods in Karst Hydrogeology, eds. Nico Goldscheider & David Drew, International contribution to hydrogeology, Series 26, pp. 201-222, ISBN: 13: 978-0-415-42873-6.

Noorduijn, S., Cook, P.G., Simmons, C.T., Richardson, S.B. (2019). Protecting groundwater levels and ecosystems with simple management approaches. Hydrogeology Journal (2019) 27, pp. 225–237.

Országos Vízügyi Főigazgatóság (2015). A Duna-vízgyűjtő magyarországi része. Vízyűjtő-gazdálkodási Terv 2015.

Simonffy, Z. (2005). Felszín alatti vízkészletek hasznosítását korlátozó ökológiai kritériumok. VKI vitaanyag.

Watermark Numerical Computing (2004). PEST Model-Independent Parameter Estimation, User Manual 5<sup>th</sup> Edition.

## A SZERZŐ



**KOVÁCS ATTILA** PhD, nemzetközileg elismert és idézett geológus és hidrogeológus, aki mind az alapkutatásban mind pedig az iparban kiterjedt tapasztalatokkal rendelkezik. Több tucat nemzetközi publikáció szerzője. Fő kutatási területe a karszthidrogeológia és numerikus modellezés. Legfontosabb nemzetközileg elismert kutatási eredménye, hogy analitikus összefüggések felállítása útján feltárta a karsztos vízádók hidrodinamikáját, és kidolgozott olyan kvantitatív módszereket, amelyekkel lehetővé vált a karsztjárat rendszer geometriájának meghatározása, és a karsztos vízádók valósághű numerikus modellezése. Emellett széleskörű tapasztalatokat szerzett a hidraulikai és transzportmodellezés, valamint a geotermia, a klímaváltozás vizsgálata, ivóvízbázis védelem, kármentesítés, bányászati hidrogeológia, geotechnika, radioaktív és kommunális hulladéklerakók hidrogeológiai vizsgálatának terén. 1998-ban végzett az ELTE geológus szakán, majd 2003-ban doktorált a Neuchateli Egyetemen, Svájcban. Több országban dolgozott (Magyarország, USA, Svájc, Új-Zéland, Ausztrália), és mint főhidrogeológus több mint hetven ipari és kutatási projektben vett részt. Jelenleg a Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat, valamint az MTA-ME Műszaki Földtudományi Kutatócsoport munkatársa és egyetemi oktató.



## Nyomásos öntözőrendszerek teljesítményértékelésének lehetséges módszertana a megbízhatóság növelése érdekében

Mohannad Alobid<sup>1</sup> és Pék Éva<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ihrig Károly Gazdálkodás- és Szervezéstudományok Doktori Iskola, Debreceni Egyetem, Gazdaságtudományi Kar, Böszörményi út 138., 4032 Debrecen (E-mail: mohannad.alobid@econ.unideb.hu)

<sup>2</sup> Land and Water Division, Food and Agriculture Organization of United Nations, Viale delle Terme di Caracalla, 00153 Rome (E-mail: eva.pek@fao.org)

### Kivonat

A nyomásos öntözőrendszerek számos előnnyel rendelkeznek, mint vízhasználat hatékonyság, termelékenység növelő hatás és rugalmasság, ezért alkalmazásuk egyre inkább elterjedtebb világszerte. Azonban a beruházás igényük jóval meghaladja a hagyományos felszíni öntözési rendszereket, ezért alkalmazásuk csak akkor javasolt, ha megbízható szolgáltatást nyújtanak. Ennek ellenére a teljesítményértékelésükre alkalmazott módszertanok még nem elterjedtek. A nyomásvezérlést értékelő modellekben komoly lehetőség rejlik az egyéb teljesítményértékelési módszertanokkal szemben. A különféle kijuttatási igényekhez igazodó nyomásértékek meghatározásával kiemelkedő lehetőséget nyújtanak az öntözőrendszerek tervezéséhez és fejlesztéséhez. Az elemzés egy dél-olaszországi, igény szerinti vízkijuttatás elven működtetett nyomásos öntözőrendszer esettanulmánya alapján került elvégzésre. A teljesítményelemzés megerősítése érdekében a hidrások belső érzékenységét vizsgáló új teljesítmény indikátort (Hidrás Belső Érzékenység - Hydrant Internal Sensitivity) alkalmaztunk a FLUCS modellek indikátorai mellett. A kapott eredményekből látszik, hogy a teljesítmény nagyban függ a felszerelt átfolyásszabályzók és nyomásszabályzók kombinációjának jelleggörbájátől. Emellett a tervezettnél nagyobb számú működő hidrás esetén a legjobb eredményeket a szivattyúk oldalán működő átfolyásszabályzókkal lehet elérni a megnövekedett kibocsátási rugalmasság és a viszonylag alacsony nyomásvesztés miatt. A kisebb mértékben korlátozó áramlásszabályzók rugalmatlansága a korlátozó áramlásszabályzókhoz képest jól példázza a hálózat előre nem látható viselkedését különböző fejlesztések hatására, illetve a teljesítményértékelés szükségességét a hálózat kialakítása, áttervezése, vagy felújítása előtt.

### Kulcsszavak

Nyomásos öntözési rendszerek, teljesítményértékelés, Hidrás Belső Érzékenység (HISj), öntözési szolgáltatás, megbízhatóság.

## Performance analysis by pressure-driven model to increase reliability of water services in pressurized irrigation systems

### Abstract

The number of advantages of pressurized irrigation systems is ample, such as the improved water use efficiency, increased yield and productivity, flexibility. Therefore, they are increasingly used worldwide. However, their investment needs are considerably higher than the surface irrigation systems, so, their application is only required if their reliability is proved, and the costs outweighed benefits. Yet the performance analysis is not widespread. Pressure-driven models hold considerable potential to overcome the shortcomings of other performance analysis models. Their applicability to address the varying discharges and pressures in the irrigation systems has significant merits to exploit their potential. The analysis was carried out in a collective pressurized irrigation network operating on demand in South-Italy. In order to provide robustness of the performance analysis, new performance indicator, the Hydrant Internal Sensitivity (HISj) was introduced apart from the indicators provided by the applied FLUCS models. Results show that performances highly depend upon the characteristic curve of the selected combination of the installed flow limiters and pressure regulators. Furthermore, when the number of operating hydrants exceeds the designed one, best results are obtained with upstream flow limiters due to the increased discharge flexibility and relatively low head losses. The example of the inflexibility of less strict flow limiters compared to strict flow limiters clearly shows the effect of the feasibility of investment on the behaviour of the network, and the need for conducting performance assessment before making the design, re-designing or rehabilitating the system.

### Keywords

Pressurized irrigation systems, performance analysis, Hydrant Internal Sensitivity, water service, reliability.

### BEVEZETÉS

Az öntözés pozitív hatása a gazdálkodás eredményességére mára megkérdőjelezhetetlenné vált. Az öntözési gazdálkodás magasabb jövedelmezőséget, hozzáadott értéket és hatékonyságot eredményez, ezáltal megfelelő stratégiát nyújt a klímaváltozáshoz történő alkalmazkodáshoz. Az öntözésfejlesztés kiemelkedő szereppel bír szinte minden ország fejlesztési stratégiájában különböző érdekeket szem előtt tartva, mint például a mezőgazdaság versenyképességének növelése, szegények érdekeit szolgáló fejlesztések bevezetése (pro-poor policies) vagy az élelmiszer-biztonság biztosítása

(Pandey 2018). Mindezek, és a népességnövekedés hatására a globális vízfelhasználás drasztikusan megnövekedett. A FAO előrejelzés alapján a globális élelmiszerigény 50%-kal fog növekedni 2050-re, míg a vízfelhasználás 10%-kal növelhető csak ugyanezen az időtávon (FAO 2017). Mindez a víz hatékony felhasználásának növelésére ösztönöz (Nechifor és Winning 2018). Azonban a világ öntözött területeinek 86%-a még mindig felületi öntözési módszert alkalmaz (FAO 2019). Becsült 40% vízvesztéssel a vízszállítás során, a felületi öntözés a legkevésbé hatékony öntözési forma. Ezzel szemben a mikroöntözési módok, mint a csepegtető

rendszerek alkalmazása akár 90%-os hatékonysággal működnek. Ezentúl számos egyéb előnnyel rendelkeznek, mint a termelékenység növelő hatás, nem függenek a domborzati viszonyoktól, egyenletes kijuttatást biztosítanak az egész területen és csökkentik az öntözési időt (Bakhsh és Choudry 2017). Magyarország vízgazdálkodási stratégiája sem kivétel a vízhasználat hatékonyságára törekvő intézkedések alól. Tekintve, hogy az átlagos éves csapadék közel 50 mm-rel csökkent az elmúlt 100 évben, a mezőgazdaságnak alkalmazkodnia kell a klímaváltozás hatásaihoz. Az évközi csapadékmentes időszakok egyre hosszabbak ezzel előidézve az egyre gyakoribb aszálykárokat (Nagy és társai 2012).

Ezt felismerve számos öntözési rendszer modernizációs stratégiája foglalta magában a felületi öntözést víztakarékos öntözésre való felváltását nagyrészt nyomásos rendszerekkel (csepegtető rendszerek, alacsony nyomású vízpermetezés, lineáris rendszerek stb.). A stratégiák azonban a legtöbb esetben csak papíron maradtak és nem valósultak meg az ilyen beruházások, a többlet energiaigény költsége és a piaci kockázat miatt (Alcon és társai 2014, Balana és társai 2018, Elshaikh és társai 2018). A legkarindalibb kérdés az öntözőrendszerek fejlesztése esetében, hogy a beruházás megtérül-e mind termelékenység és vízhasználat hatékonyság szempontjából. A legfontosabb öntözött kultúrák (zöldségek, cukorrépa stb.) azonban kikerültek az öntözött területek alól feldolgozókapacitás hiánya miatt teret hagyva a kevésbé jövedelmező kultúráknak, mint búza és kukorica (Juhász és társai 2013). További probléma az öntözni való földterületek elaprózódása, ami a gazdálkodók közös beruházását teszi szükségessé ahhoz, hogy a megfelelő megtérülés biztosítva legyen. A jelen kutatást Olaszországban, Bari megyében folytattuk le, ahol kollektív öntözőrendszer biztosítja a kertészeti kultúrákat termesztő gazdálkodók vízigényét. A bemutatott rendszer Magyarországon még nem elterjedt, azonban számos lehetőséget foglal magában, ami egyidejűleg biztosít hatékony vízfelhasználást és rugalmas, a kultúrák aktuális vízigényéhez igazodó öntözésszolgáltatást. Függetlenül a nyomásos rendszerek értékelésére kifejlesztett módszertanok alapvető hasznosságától a beruházás megtérülés biztosítása érdekében, a teljesítményértékelő módszertanok még nem elterjedtek (Holmelin és Aase 2013, Miao és társai 2015, Mango és társai 2018). Az elmúlt évtizedekben számos nyomásos öntözési rendszert telepítettek, amelyek biztosítják a szükséges vízigényt, öntözési szolgáltatás magas minőségét, ezentúl a rendszer megfelelő rugalmasságát a változó vízszükséglet esetén. (Lamaddalena és Sagardoy 2000). A rugalmasság szükségességének figyelembevétele a költséghatékonyság biztosításával egyidőben igen összetett feladat, mivel számos párhuzamos nemlineáris hálózati egyenleten keresztül történik a hálózati elemek méretének, funkciójának és az elemek működési helyének optimalizációja (Gupta és Bhavé 1994, Lamaddalena és Pereira 2007a, Fletcher és társai 2017). A nyomásos öntözési rendszereket arra tervezték, hogy hatékonyan juttassák ki az öntözővizet a domborzati korlátok ellenére, illetve megkönnyítsék a rendszer

monitoringot, karbantartást és menedzsmentet (Lebdi és Lamaddalena 2005). Számos előnyük ellenére az átfolyási sebesség térben és időben nagyon különböző, emiatt pedig az öntözési szolgáltatás sok esetben megbízhatatlanná válik (Lamaddalena és Pereira 1998). Ebből fakadóan a rendszerek teljesítményértékelése különös jelentőséget élvez különféle működési körülmények között, mivel lehetővé teszi a fejlesztési stratégiák kidolgozását, miközben továbbra is biztosítjuk a rugalmas, megbízható és az összes gazdálkodó számára egyformán hozzáférhető öntözési szolgáltatást (Lamaddalena és Pereira 2007b, Zaccaria 2012). A teljesítményértékelés pontosságának biztosítása érdekében jelen cikk a különböző eszközökkel felszerelt nyomásos öntözési rendszerek teljesítményére fókuszál. Az öntözőrendszer nyomásszabályozó eszközökkel való felszerelése bár a költséghatékonyságot és a hasznos élettartamot növelő művelet, nem minden esetben biztosít megbízható megoldást. A jelen tanulmány olyan módszertant mutat be, amely alkalmas a beruházások eredményének előzetes értékelésére. A széles körben alkalmazott megbízhatóság és relatív nyomásvesztesség mellett a hidráns érzékenységet mérő új indikátor is kidolgozásra került.

## ANYAG ÉS MÓDSZER

Az öntözési rendszerek működési feltételei folyamatosan változnak és az adott hálózattól függően különbözőek (Stamouli és társai 2017). A kutatás során hálózatelemzést végeztünk annak érdekében, hogy alátámasszuk a nyomásvezérelt öntözőrendszerekben rejlő lehetőségeket, valamint azonosítsuk a hiányosságokat és betekintést nyújtunk a rendszer működési tulajdonságaiba, ezáltal pedig a gazdálkodóknak nyújtandó szolgáltatás minőségébe. Számos modell került kifejlesztésre az elmúlt években, például az IRRICAD, SPRINKMOD és ICARE modellek abból a célból, hogy valódi, aktuális öntözési problémákra nyújtsanak megoldást, illetve rendszerelemzést végezhesenek velük (Wood és Charles 1972, Bethery és társai 1981, Walski és társai 1987, Hutchinson és társai 1993, Andrade és Allen 1999). A változó kijuttatáshoz és nyomáshoz való alkalmazkodás érdekében került kifejlesztésre a Flow Upstream Control System (FLUCS) modell, melynek segítségével elemezhető a kijuttatás- és nyomásszabályozó eszközök hatása a hálózatok elosztási szakaszain (felvízi szakaszán, elosztási csomópontoknál és a hidránsoknál).

Az itt bemutatott megközelítés a jelleggörbe módszeren alapul. A hálózat számos hidránsból áll, melyek jelleggörbéje a kijuttatás és az adott nyomás értékéből származtatható,  $H_j=f(Q_j)$ . A módszer segítségével meghatározható a hálózat legelső pontjának emelőmagassága az igények kiszolgálásának érdekében. A hidránsok számától függően az igény szerint működő hálózat a nyitott hidránsok nagyszámú konfigurációját (r) teszi lehetővé, melyből sok jelleggörbe írható le. Ezek alapján az alkalmazott módszertan segítségével csupán a legjellegzetesebb pontpárokat vesszük figyelembe, amikor minden egyes konfiguráció esetén az összes nyitott hidráns nominális kibocsátáson üzemel,

így az összes konfiguráció teljesül. Az alábbi összefüggés fennállása esetén kijelenthető, hogy az adott konfiguráció teljesül:

$$H_{j,r} \geq H_{\min},$$

ahol  $H_{j,r}$ : a  $j$ -ik hidrális emelőmagassága a konfiguráción ( $r$ ) belül, illetve  $H_{\min}$ : az adott hidrális által kiszolgált terület megfelelő lefedése érdekében meghatározott minimális emelőmagasság. A lehetséges konfigurációk esetén meghatározhatjuk az emelőmagasság és a nominális vízkijuttatás értékpárjait, melyből indexált jelleggörbék (ICC) származtathatók. Az indexek jelzik azt a konfigurációs rátát, mely nem mutat semmi hibát. A FLUCS integrálja az ICC-t, melyből az öntözőrendszer globális teljesítményére vonatkozóan kaphatunk eredményeket.

### Teljesítménymutatók

Az öntözőrendszerek elemzését három teljesítménymutató segítségével végezhetjük el: relatív nyomásvesztés, megbízhatóság és hidrálisok belső érzékenysége. A mutatók segítségével mérhető változókat kapunk, illetve vizsgálhatjuk az öntözőrendszer teljesítményét (Alwis és Wijesekra 2011).

A relatív nyomásvesztés (RPD) a hidrális emelőmagasságának térbeli változékonyságát mutatja. Az összes létrejött konfiguráción ( $r$ ) belül akkor tekinthetünk egy hidránt ( $j$ ) megfelelőnek, ha fennáll a (2) egyenletben foglalt kritérium:

$$RPD_{j,r} = \frac{H_{j,r} - H_{\min}}{H_{\min}}$$

ahol  $RPD_{j,r}$ : a hidrális ( $j$ ) adott konfiguráción ( $r$ ) belüli relatív nyomásvesztése,  $H_{j,r}$ : a hidrális ( $j$ ) hidraulikus emelőmagassága a konfiguráción ( $r$ ) belül, illetve  $H_{\min}$ : a minimális emelőmagasság az adott műveletben. Egy rendszer megbízhatósága ( $Re$ ) rámutat arra, hogy milyen gyakran hibásodik meg az adott rendszer (Renault és Vehmeyer 1999, Ebeling 1997). A megbízhatóság egy adott rendszer alkalmazkodási képessége különféle körülmények között. Egy adott hidrális megbízhatóságát az alábbiak szerint határozhatjuk meg és számolhatjuk ki:

$$Re_j = \frac{\sum_{r=1}^C I_{h,j,r} \cdot I_{p,j,r}}{\sum_{r=1}^C I_{h,j,r}}$$

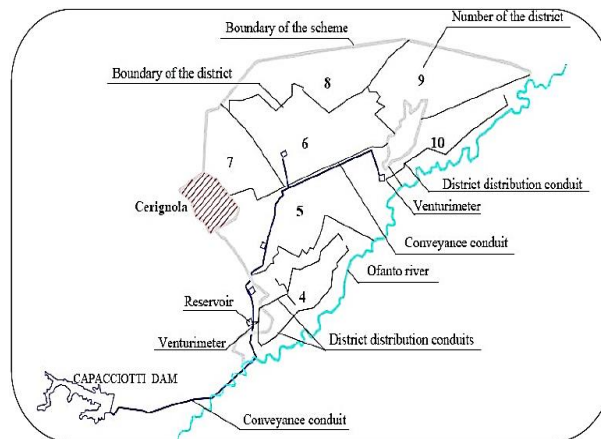
ahol  $Re_j$ : a hidrális ( $j$ ) megbízhatósága;  $I_{h,j,r} = 1$ , amennyiben a hidrális nyitott az adott konfigurációban ( $r$ );  $I_{h,j,r} = 0$ , ha a hidrális zárt az adott konfigurációban ( $r$ );  $I_{p,j,r} = 1$ , ha  $H_{j,r} \geq H_{\min}$ ;  $I_{p,j,r} = 0$ , ha  $H_{j,r} < H_{\min}$ ;  $C$ : a létrehozott konfigurációk teljes száma.

A Hidrálisok Belső Érzékenysége (Hydrant Internal Sensitivity - HIS<sub>j</sub>) egy új teljesítményindex, amelynek segítségével a rendszer hidraulikus tulajdonságai mérhetővé válnak. A HIS<sub>j</sub> a nyomásos rendszerek kialakításának és modernizálásának releváns paramétere, melynek segítségével értékelhetővé válik, hogyan reagál a hálózat az átfolyás zavarainak gyakoriságára, illetve azok csillapítására (Modarres és társai 2010, Saltelli és Annoni 2010, Cherni-Cadro és társai 2015). A mutató segítségével meghatározhatóak az érzékeny hidrálisok a relatív nyomásvesztései értékek közötti különbség alapján a 10%-os és 90%-os

burkológörbék között. 100% esetén az összes hidrális konfigurációja kielégítő.

### A vizsgált terület

A kutatás a dél-olaszországi 39 000 hektáros Sinistra Ofanto öntözőrendszer területén került elvégzésre (1. ábra).



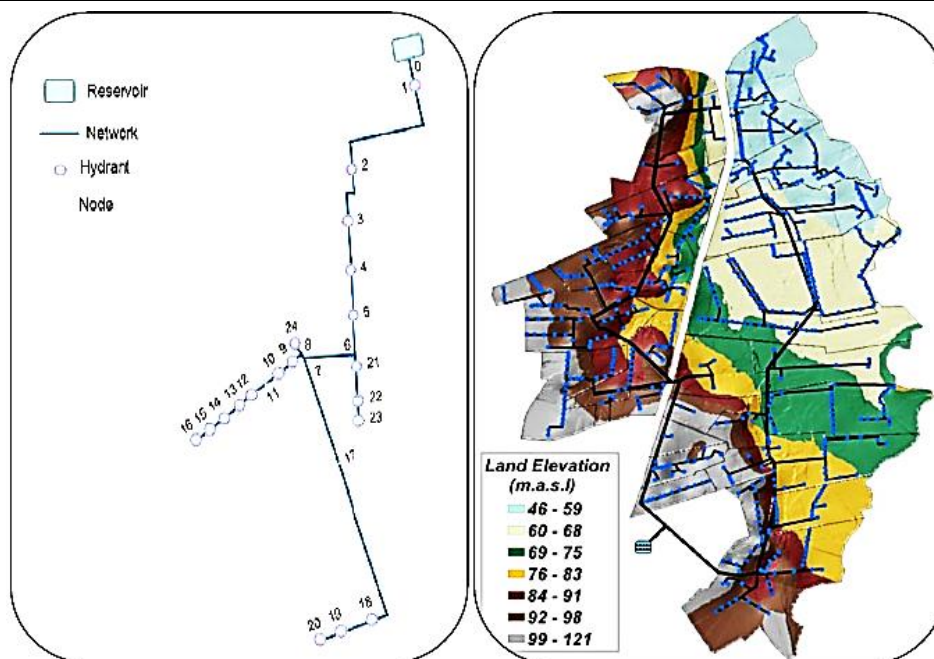
1. ábra. Sinistra Ofanto öntözőrendszer (Lamaddalena 2007)  
(Boundary of the scheme – a rendszer határa; Boundary of the district – a kerület határa; Reservoir – tározó; Venturimeter – vízhozammérő; Number of the district – a kerület száma; District distribution conduit – kerületi elosztóvezeték; Conveyance conduit – szállítóvezeték; River – folyó; District distribution conduits – kerületi elosztó vezetékek)

Figure 1. Sinistra Ofanto irrigation scheme  
(Lamaddalena 2007)

Az alsó, 22 500 ha-os területen található öntözési alrendszert hét különböző öntözési zónára osztották (4-10. zónák). A 4. zóna egy tározóval és egy kiegyenlítő tározóval van ellátva, illetve egy vezetérendszerrel, mely a 28 000 m<sup>3</sup> tározókapacitású Capacciotti víztározóból szállít vizet. A különböző szektorokat ugyanazon tározóból öntözik előre meghatározott öntözési rend alapján, amely magában foglalja az öntözés időpontját és a pontos vízigényt.

Az öntözővíz elosztása földbe fektetett vezetéken keresztül történik az öntözőigények figyelembevételével. Minden szektorban felszerelésre került egy kontroll egység, mely egy reteszből, egy áramlásmérőből és egy átfolyásszabályozóból áll. A területek öntözését szolgáló hidrálisok átlag kapacitása 10 l/s. A területre homokos és iszapos talajtípus jellemző. A 4. zóna 25. szektorát jelöltük ki kutatási területnek, mely kb. 50 ha-t foglal magában. A 4. zóna kontrol egységgel ellátott gáttal, Venturi mérővel és 50 l/s hozamú átfolyásszabályozóval rendelkezik. A 25. szektor hálózatán összesen 24 elosztási pont helyezkedik el, amelyből 19 pont maga a végelosztó hidrális. Minden hidrális nyomás- és hozamszabályozóval van felszerelve 10 l/s átlagkapacitással. A piezometrikus emelkedés a szivattyúknál 132.5 mBf.

A Clément optimalizáló program segítségével nyerhető ki a hálózatot jellemző adatsor. Jelen vizsgálat különféle konfigurációkban és a rendszer különböző szakaszain értékeli az áramlások sztochasztikus variabilitását. Az 1. táblázatban megadott adatokat alkalmaztuk a vizsgálat során.



2. ábra. Az öntözőrendszer elosztása és domborzati térképe  
(Reservoir – tározó; Network – hálózat; Hydrant – hidráns; Node – csomópont; Land Elevation – terepmagasság)  
Figure 2. Layout of the irrigation system and its elevation map

1. táblázat. 25. szektor alkalmazott adatai  
Table 1. Data of sector 25

Szakasz sorszáma	Első elosztó-pont	Utolsó elosztó-pont	Diaméter (mm)	Domborzat (tengerszint felett)	Hosszúság (m)
1	0	1	315	96,2	150
2	1	2	315	95,8	462
3	2	3	280	96,3	162
4	3	4	280	97,5	118
5	4	5	280	98,4	80
6	5	6	280	101,1	112
7	6	7	250	100	250
8	7	8	160	100,1	13
9	8	9	160	98,8	63
10	9	10	160	98	50
11	10	11	160	96,8	83
12	11	12	160	96	30
13	12	13	140	95,7	30
14	13	14	140	95,3	63
15	14	15	140	95,2	35
16	15	16	110	95	40
17	7	17	250	100,3	315
18	17	18	225	102	413
19	18	19	225	103	173
20	19	20	160	102,8	43
21	6	21	160	103	124
22	21	22	125	103,8	75
23	8	23	110	99,5	63

### Modell specifikációk

A FLUCS segítségével a felszerelt áramlásszabályzó (FL) figyelembevételével végezhetjük el a rendszerértékelést. Négy scenáriót vizsgáltunk a két típusú felvízi (későbbiekben „upstream” – jelentése: az öntözőrendszer

felvízi oldala, tehát a vízkivételhez közelebb elhelyezkedő része a rendszernek a vízfolyás irányának megfelelően) áramlásszabályzó és két típusú hidráns kombinációi alapján: i.) korlátozó upstream áramlásszabályzó (FLA) és állandó hozamú hidráns (HA); ii.) korlátozó upstream áramlásszabályzó (FLA) és arányos hozamú hidráns (HB); iii.) kisebb mértékben korlátozó upstream áramlásszabályzó (FLB) és arányos hozamú hidráns (HB); illetve iv.) kisebb mértékben korlátozó upstream áramlásszabályzó (FLB) és állandó hozamú hidráns (HA). Két különböző upstream vízhozamot alkalmaztunk:  $Q_{up}=50\text{ l/s}$  és  $Q_{up}=60\text{ l/s}$ . A nominális hozam ( $(Q_n, FL)=50\text{ l/s}$ ), illetve az upstream áramlásszabályzó által átengedett maximális hozam ( $Q_{max, FL}=57,5\text{ l/s}$ ) közötti 15%-os toleranciával (1,15) számoltunk. Az érzékenységi vizsgálat (HISj) során 50-100-200-500-1000 számú konfigurációt vettünk figyelembe. A 2. táblázat a hálózat fő működési adatait mutatja be a FLUCS 25. szakasza alapján.

2. táblázat. Az öntözőtelep működési adatai  
Table 2. Characteristics of the irrigation system

Upstream piezometrikus emelkedés	132.5 mBf.
A véletlenszerű konfigurációk száma	200
Hidráns jelleggörbe: Emelőmagasság nominális kibocsátáson Az egyes hidránsokhoz szükséges hozam	6 - 20 m 10 l/s
Upstream szelep jelleggörbe: Nominális hozam Nyomásvesztések nominális kibocsátáson	57,5 l/s 6 - 20 m

Két típusú nyomás-hozam szabályozót feltételezünk a hidránsoknál (3. ábra):

- Állandó hozamú hidráns (HA), amely esetén az alábbi feltétel teljesül:

$$Q_j = \xi_h \sqrt{H_j}, \text{ ha } 0 < H_j < 6 \text{ m}$$

$$Q_j = Q_{n,j} \text{ ha } H_j > 6 \text{ m,}$$

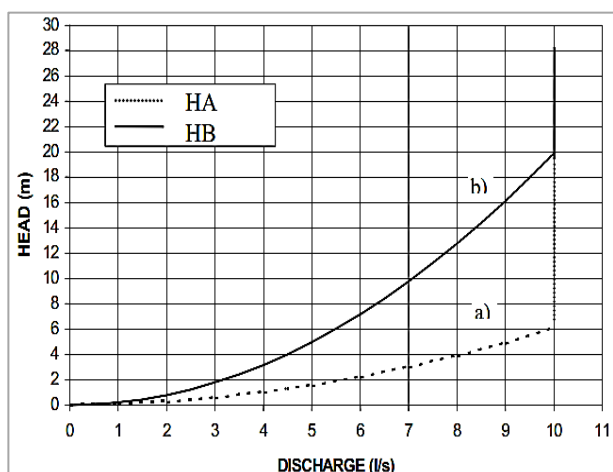


ahol  $Q_j$  (l/s) és  $H_j$  (m) a hozam és a hidraulikus nyomás a  $j$  hidránsnál,  $Q_{n,j}$  a nominális hozam a  $j$  hidránsnál,  $\xi_h$  a súrlódási veszteség együtthatója a hidráns szabályozójától függően (ebben az esetben egyenlő  $4,08 \text{ l/s m}^{0,15}$ ). Ha feltételezzük, hogy a hidráns  $H_j=20$  m nyomásra tervezett, akkor a hozamra csak akkor van hatással a nyomásvesztés, ha  $H_j < 6$  m alá süllyed.

- Arányos hozamú hidráns (HB), amely esetén a hozam változik a nyomásváltozással, ha  $H_j$  kisebb mint a nominális nyomás. A következő feltételek teljesülnek ez esetben:

$$Q_j = \xi_h \sqrt{H_j}, \text{ ha } 0 < H_j < 20 \text{ m}$$

$$Q_j = Q_{n,j} \text{ ha } H_j > 20 \text{ m; és } \xi_h = 2.24 \text{ l s}^{-1} \text{ m}^{-0.5}.$$



3. ábra. A hidránsok hozam-nyomás szabályozók jelleggörbéje (Lamaddalena és Pereira 2007a)

(Head – nyomásmagasság; Discharge – vízhozam)

Figure 3. Characteristic curves of the discharge-pressure regulators at the hydrants (Lamaddalena and Pereira 2007a)

Két típusú áramlásszabályozót feltételezünk a hálózat felvízi oldalán (4. ábra):

- Korlátozó áramlásszabályozó (FLA), amely esetében az alábbi egyenlet teljesül:

$$Q_{0,FL} = \xi_{FL} \sqrt{\Delta Y_0}, \text{ ha } 0 < \Delta Y_0 < 6 \text{ m}$$

$$Q_{n,FL} = 1,15 Q_{n,FL} \text{ ha } \Delta Y_0 > 6 \text{ m,}$$

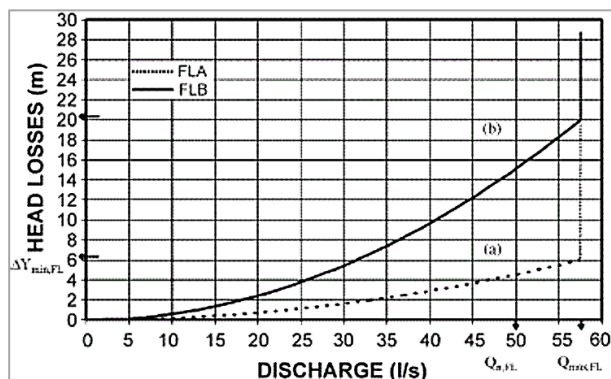
ahol  $Q_{0,FL}$  az áramlásszabályozó által kibocsátott hozam,  $\Delta Y_0$  (m) az áramlásszabályozó által létrehozott nyomásvesztés,  $Q_{n,FL}$  (l/s) a nominális hozam a felvízi áramlásszabályozónál,  $\xi_h$  a súrlódási veszteség együtthatója az áramlásszabályozótól függően (ebben az esetben egyenlő  $23.47 \text{ l/s m}^{0,15}$ ). Ez a típusú áramlásszabályozó alacsony nyomásvesztéssel generál a maximális hozam eléréséig, utána állandó hozamot tart fenn.

- Kevésbé korlátozó áramlásszabályozó (FLB), amely esetében az alábbi egyenlet teljesül:

$$Q_{0,FL} = \xi_{FL} \sqrt{\Delta Y_0}, \text{ ha } 0 < \Delta Y_0 < 20 \text{ m}$$

$$Q_{n,FL} = 1,15 Q_{n,FL} \text{ ha } \Delta Y_0 > 20 \text{ m}$$

A hozam a nyomásvesztéssel együtt változik a küszöbértékig a szabályozó alkalmazása esetén, ami után állandó hozamot tart fenn.  $\xi_{FL} = 12.86 \text{ l/s m}^{0,5}$  súrlódási veszteséggel ez az áramlásszabályozó kevésbé korlátozó, mint az előző szabályozó (FLA).



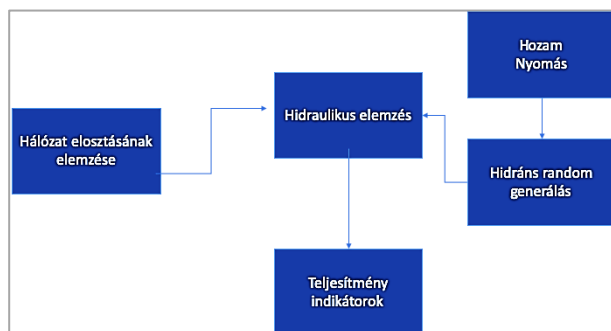
4. ábra. Felvízi áramlásszabályozó jelleggörbéje (Lamaddalena és Pereira 2007a)

(Head losses – nyomásmagasság veszteségek; Discharge – vízhozam)

Figure 4. Characteristic curves of the upstream flow limiters (Lamaddalena and Pereira 2007a)

A módszertant az alábbi lépéseken keresztül alkalmaztuk (5. ábra):

- A hálózat fekvésének és elosztásának vizsgálata;
- Random hidráns konfiguráció generálása;
- Hidraulikus elemzés;
- Teljesítményértékelő indikátorok elemzése: relatív nyomásvesztés, megbízhatóság; hidráns belső érzékenység.



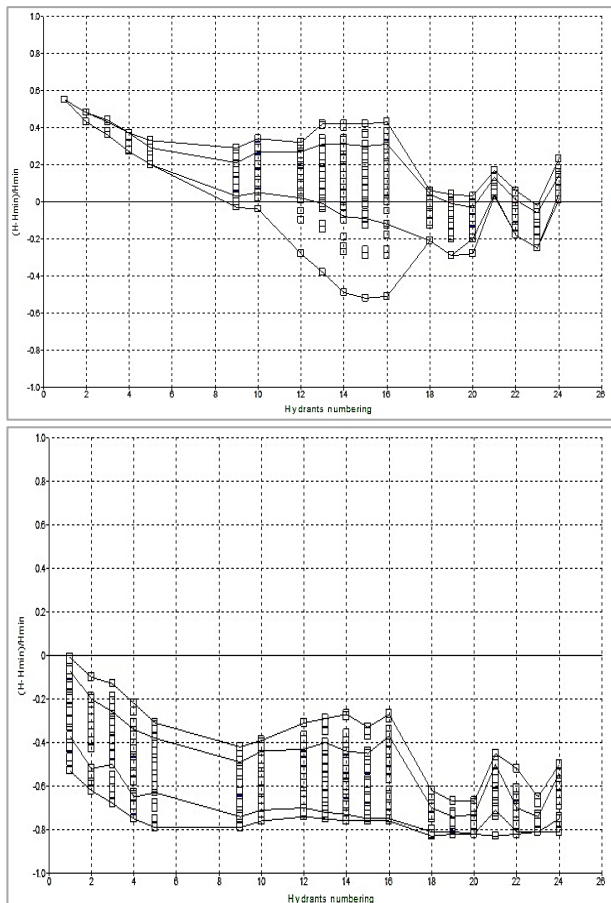
5. ábra. Teljesítményértékelés folyamatábrája (saját szerkesztés)

## EREDMÉNYEK, KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

### FLA és HA

A 6. ábra szemlélteti az RPD (relatív nyomásvesztés) értékeit az FLA-HA kombináció és három különböző növekvő hozam esetén  $Q_{up}=50 \text{ l/s}$  és  $Q_{up}=60 \text{ l/s}$  között. A hidránsok jelleggörbéje alapján, elfogadható a nominális kibocsátás hipotézise, mivel a 6 m-es küszöbértéket nem érjük el ( $RPD_j = 0,7$ ) az első esetben. A modell eredményei alapján a hidránsoknál lévő áramlásszabályozó helyi nyomásvesztést okoz a hálózat felvízi végén, melynek értéke közel 4 m. A második esetben 6 hidráns működik egyidejűleg megnövekedett hozammal ( $57,5 \text{ l/s}$  upstream áramlásszabályozóval). Ebből következően az egyes hidránsok hozama kevesebb, mint  $10 \text{ l/s}$ . A hidránsok jelleggörbéje (HA) alapján a kibocsátás csökken, ha az adott emelőmagasság alacsonyabb, mint 6 m. Ebből következően az upstream áramlásszabályozó magas helyi nyomásvesztéseket hoz létre annak érdekében, hogy lejjebb toljódjon a piezometrikus görbe. Emiatt az összes működő

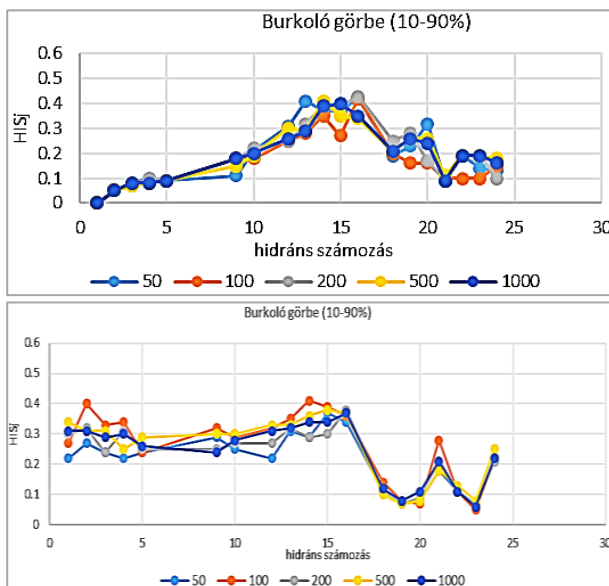
hidrális hibajelenséget mutat, ugyanis a hozamuk sokkal alacsonyabb, mint 10 l/s. A megbízhatósági elemzés eredménye jól tükrözi az RPDj értékeket, az RE pedig 0,2 alá csökken a hálózat alvízi (későbbiekben downstream - jelentése az öntözőrendszer alvízi oldala, a vízkivételhez távolabb elhelyezkedő része a rendszernek a vízfolyás irányának megfelelően) részén (hozam:  $Q_{up}=50$  l/s). A hozam  $Q_{up}=60$  l/s értékre növelésének eredményeképpen a rendszer megbízhatósága teljességgel elvethető, az RPD eredményekhez hasonlóan.



6. ábra. Az RPD változásai minden egyes hidrális esetén az FLA-HA kombinációban a (a)  $Q_{up}=50$  l/s, (b)  $Q_{up}=60$  l/s értékek 200 véletlenszerű konfigurációja alapján

Figure 6. Relative Pressure Deficit indicator for the hydrants in FLA-HA combination at (a) 200 random discharge configurations of  $Q_{up}=50$  l/s. (b) 200 random discharge configurations of  $Q_{up}=60$  l/s

Az újonnan bevezetett HISj értékek alapján a hálózat felvízi része alacsony érzékenységet mutat (0,1)  $Q_{up}=50$  l/s esetén, amely 2 m-es nyomásváltozásnak felel meg (7. ábra). A nyomásváltozás értéke a hálózat közepén 0,4 (8 m) és a downstream hidrálisoknál enyhén növekszik. A  $Q_{up}=60$  l/s értékre növelése esetén a 10-90%-os maximális nyomásspektrum az összes szimulált konfigurációban emelkedett, a kapott értékek 0,2 és 0,4 között változnak (7b. ábra). A hálózaton tapasztalható instabilitás oka, hogy az FLA-t maximum 57,5 l/s hozamra tervezték, amely helyi nyomásvesztéssel eredményez, ezért pedig a teljes piezometrikus görbéje lejjebb tolódik.



7. ábra. A hidrálisok belső érzékenységet jellemző mutató az FLA-HA kombinációban a (a)  $Q_{up}=50$  l/s és (b)  $Q_{up}=60$  l/s értékek 50-100-200-500-1000 véletlenszerű konfigurációja alapján

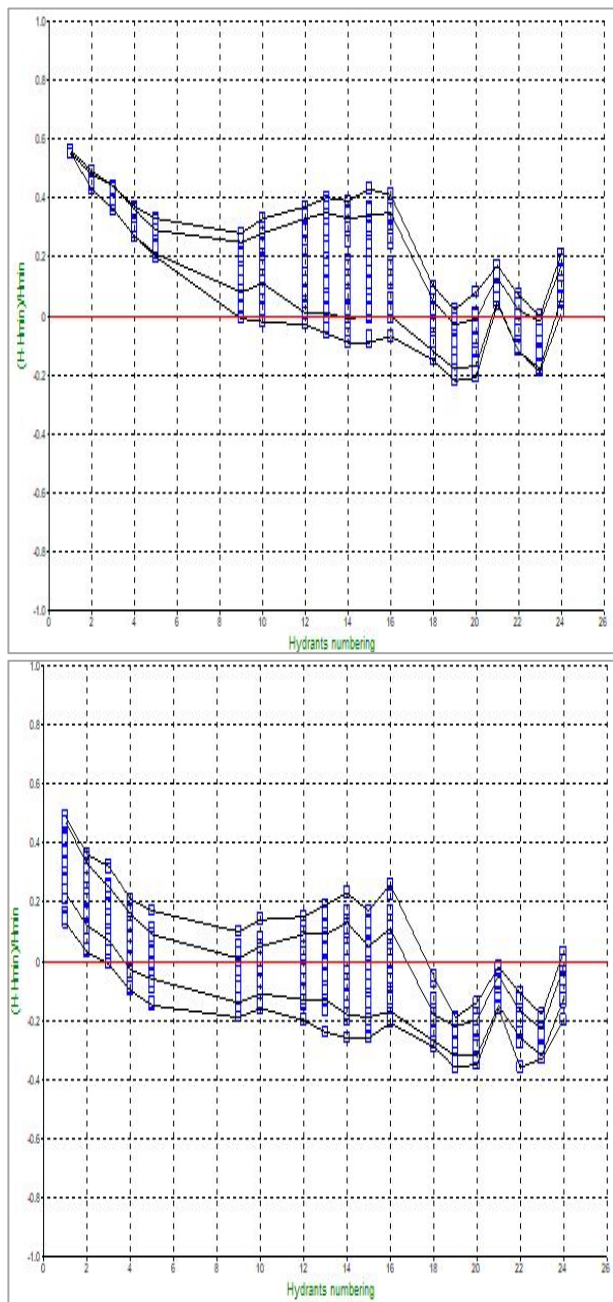
Figure 7. An indicator characterizing the internal sensitivity of the hydrants in the FLA-HA combination based on the random 50-100-200-500-1000 configurations of (a)  $Q_{up}=50$  l/s and (b)  $Q_{up}=60$  l/s values.

#### FLA és HB

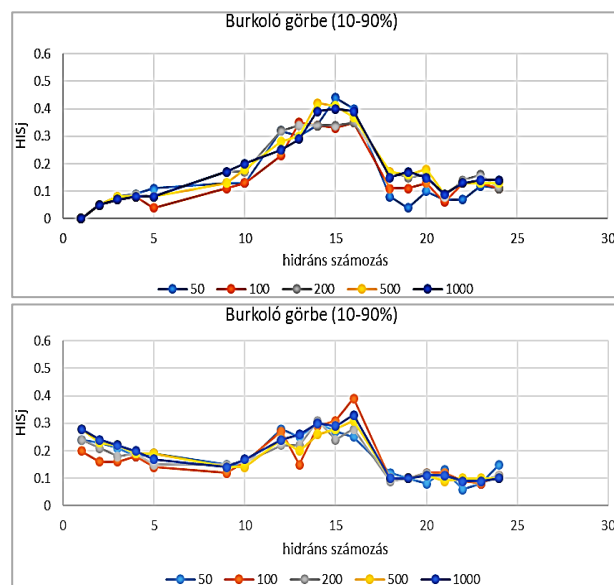
Ebben a kombinációban, illetve a HB jelleggörbéje alapján az emelőmagasság alacsonyabb, mint  $H_{min}=20$  m, ezért  $RPD_j < 0$ , illetve a hidrálisoknál mért hozam alacsonyabb, mint 10 l/s (8. ábra). Ugyanakkor az upstream áramlásszabályzó maximális kibocsátása lehet alacsonyabb is, mint 50 l/s. Emiatt jobb értékeket kapunk az FLA-HA kombinációban. Ugyanakkor negatív RPD esetén növekszik a hozam újból. A  $Q_{up}=60$  l/s értékre növelve a nyomás- és kibocsátásvesztés mértéke növekszik az előbbivel megegyező módon. Az upstream FLA kibocsátása szintén lehet alacsonyabb, mint a maximális engedélyezett érték, függően a hidrális konfigurációtól. Mindenesetre nem lépi át a  $Q_{max,FL}=7,5$  l/s értéket az upstream FLA-nak köszönhetően, mely lényeges helyi nyomásvesztéssel eredményez. A negatív és pozitív RPD értékekkel rendelkező hidrálisok megbízhatósága 0-0,3 között van. A pozitív RPD értékkel rendelkező hidrálisok RE értéke viszonylag magas (0,8 feletti)  $Q_{up}=50$  l/s hozam esetén. Amennyiben a hozamot 60 l/s értékre emeljük, csökken a megbízhatóság és a negatív RPDj értékkel rendelkező hidrálisok RE értéke 0. A rendszer azonban így is működik, bár ebben a kombinációban alacsony teljesítményt mutat. A gazdálkodók tudják öntözni a földjeiket akkor is, ha a hidrálisoknál az emelőmagasság és a kibocsátás alacsonyabb, mint a meghatározott minimális érték. Így tehát az FLA és a HB kombinációjának eredményeképp nagyobb a rendszer rugalmassága, amikor az igény túllépi a maximálisan tervezett kibocsátást, szemben a HA típusú hidrálisokkal.

Hasonlóan az FLA-HA kombinációhoz, a 10-90%-os maximális nyomásváltozás értéke közel 0,1 (2 m) a hálózat upstream részén, amennyiben a  $Q_{up}$  értéke 50 l/s (9. ábra). A nyomásváltozás 0,4-re növekszik a hálózat középső ré-

szén, mellyel együtt nagyobb fluktuáció tapasztalható a nyomásban is ( $\approx 8$  m), ezzel jelezve a nyomás viszonylagos instabilitását (a rendszer downstream végéhez közeli hidrásoknál). Ezt követően a teljesítmény stabilizálódik a hálózat downstream részén. Ha a kibocsátást 60 l/s értékre növeljük, a maximális nyomásváltozás viszonylag növekszik a hálózat közepén (4-6 m), ahogy a 9. ábrán látszik is. Az FLA-HA és FLA-HB kombinációk összehasonlítása ( $Q_{up}=60$  l/s) során arra jutottunk, hogy az előbbi kombinációnál tapasztalt jobb teljesítmény oka a csökkenő nyomásspektrum, illetve a nem kizárólag negatív értékek.



8. ábra. Az RPD változásai minden egyes hidrants esetén az FLA-HB kombinációban a (a)  $Q_{up}=50$  l/s és (b)  $Q_{up}=60$  l/s értékek 200 véletlenszerű konfigurációja alapján  
Figure 8. Variations of the RPD at each hydrant in FLA-HB combination. (a) 200 random configuration of  $Q_{up}=50$  l/s. (b) 200 random configuration of  $Q_{up}=60$  l/s

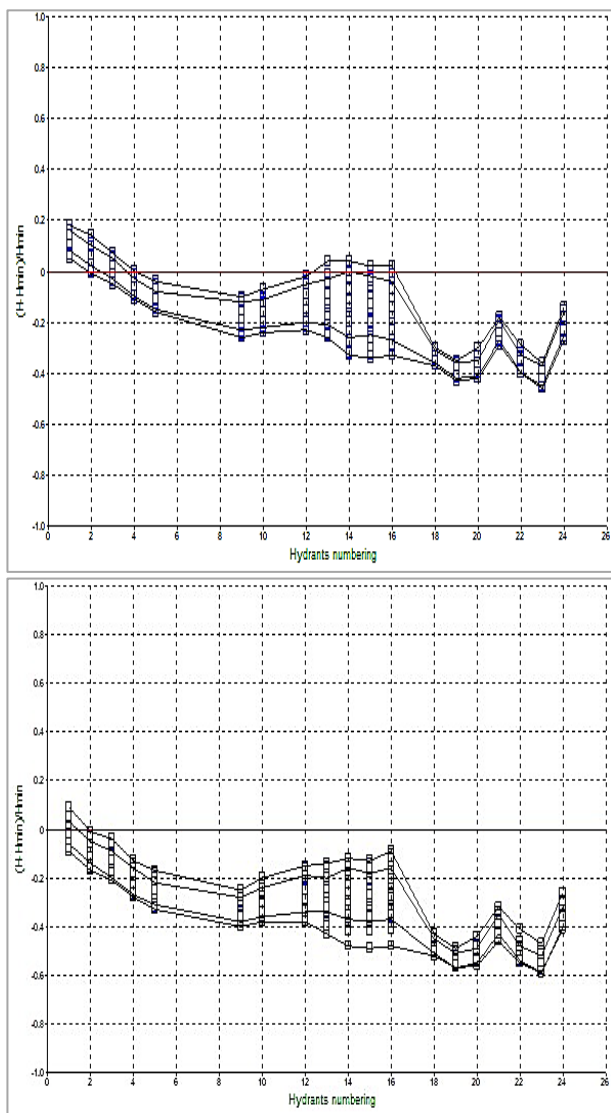


9. ábra. A hidrantsok belső érzékenységet jellemző mutató az FLA-HB kombinációban a (a)  $Q_{up}=50$  l/s és  $Q_{up}=60$  l/s értékek 50-100-200-500-1000 véletlenszerű konfigurációja alapján  
Figure 9. Hydrant Internal Sensitivity indicator in FLA-HB combination. (a) 50-100-200-500-1000 configuration of  $Q_{up}=50$  l/s. (b) 50-100-200-500-1000 configuration of  $Q_{up}=60$  l/s

### FLB és HB

A kibocsátásban mutatkozó veszteség a nyomásvesztéssel együtt lép fel  $Q_{up}=50$  l/s hozam esetén (10. ábra). Emiatt, ha a hidrásoknál tapasztalt emelőmagasság 20 m-nél alacsonyabb, a kibocsátás 10 l/s alatt van. Az upstream FLB-nél mért maximális kibocsátás lehet kisebb is 50 l/s értéknél, amennyiben a működő hidrások száma nagyobb, mint 5. Következésképp, az FLB-HB teljesítménye rosszabb, mint az FLA-HB kombináció teljesítménye az áramlásszabályzó piezometrikus görbére gyakorolt hatása miatt. Míg az FLA kismértékű helyi nyomásvesztéseket okoz a nominális kibocsátási értékig, az FLB esetén mért nagymértékű nyomásvesztés kisebb hidraulikus nyomást eredményez a hidrásoknál, amennyiben számuk legalább 5. Annak ellenére, hogy az FLB kevésbé szigorúan szabályoz, mint az FLA, kevésbé rugalmas is és gyakrabban fordul elő elégtelen nyomás a hidrásoknál. 6 egyidejűleg működő hidrants növeli a nyomás- és kibocsátási veszteséget. Az upstream FL-nél mért kibocsátás alacsonyabb is lehet a megengedett maximális értéknél, mivel ez a hidrantsok konfigurációjától függ, viszont semmiképp nem haladja meg az 57,5 l/s értéket. A rendszer teljesítménye olyan alacsony, hogy a gazdálkodók komoly nehézségekkel néznek szembe az öntözés során, mivel nagyon alacsony az emelőmagasság és a kibocsátás. Az FLB-HB értékek összehasonlítása az FLA-HB kombinációéval megerősítette, hogy az FLB gyakran kiemelkedő helyi nyomásvesztéseket eredményez, melynek eredményeképpen a piezometrikus görbe lejjebb tolódik, ezáltal hatással van a hálózat hidraulikus tulajdonságaira, továbbá elégtelen nyomást és kibocsátást okoz a hidrantsoknál. Ami a megbízhatóságot illeti, mind a  $Q_{up}=50$  l/s, illetve  $Q_{up}=60$  l/s értékek megbízhatatlan hálózatra utalnak. A hálózat upstream részén lévő néhány hidrantstól eltekintve az öntözőrendszer képtelen megfelelően kihasználni a hidrantsokat.





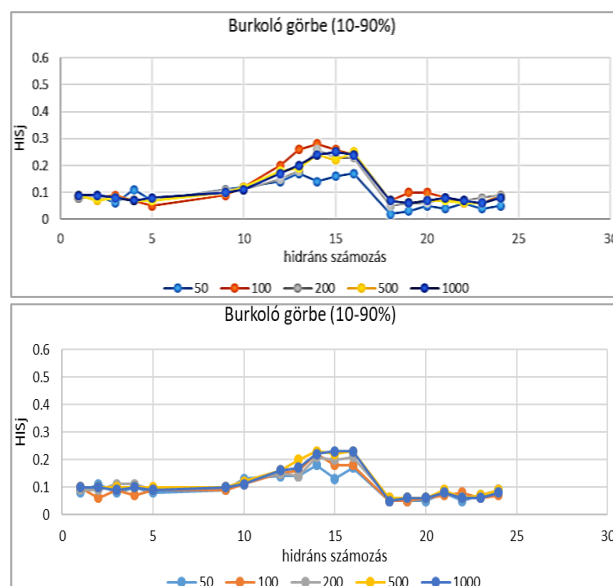
10. ábra. Az RPD változásai minden egyes hidráns esetén az FLB-HB kombinációban a (a)  $Q_{up}=50$  l/s és (b)  $Q_{up}=60$  l/s értékek 200 véletlenszerű konfigurációja alapján  
Figure 10. Variations of the RPD at each hydrant in FLB-HB combination. (a) 200 random configuration of  $Q_{up}=50$  l/s. (b) 200 random configuration of  $Q_{up}=60$  l/s

Amennyiben kiszámoljuk a HIS<sub>j</sub> mutató értékét  $Q_{up}=50$  l/s esetén (11. ábra), a 10-90% nyomásspektrum a hálózat upstream részén 0,1 körüli (amely 2 m-es tartománynak felel meg). A középső részen megnő a változás mértéke is, elérve a 0,3-at. A hálózat többi részén továbbra is alacsonyabb a nyomásváltozás mértéke. A  $Q_{up}=60$  l/s érték előző esettel történő összehasonlításából kitűnik, hogy a 10-90% maximális nyomásspektrum alacsonyabb a hálózat összes hidránsára vonatkoztatva. A rossz teljesítmény mindkét kibocsátási érték esetén azzal magyarázható, hogy az értékek többsége a negatív nyomási zónában található.

### FLB és HA

Kiemelkedő nyomásvesztésig keletkezik az upstream áramlásszabályzóknál az FLB-HA kombinációban akkor is, ha az egyidejűleg működtetett hidránsok száma 5, vagy kevesebb (12. ábra). A hidránsok kibocsátása állandó (10 l/s), kivéve amikor az emelőmagasság a minimális 6 m alá

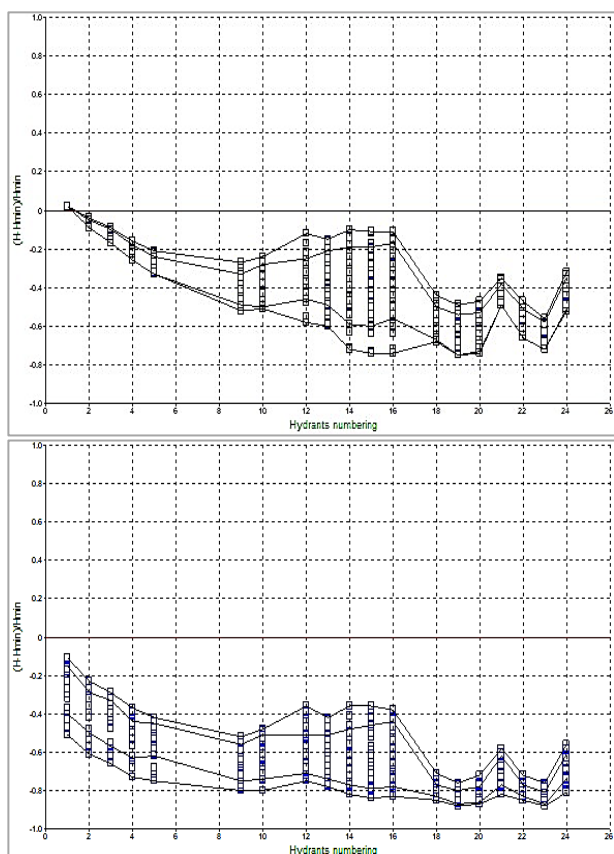
csökken. Következésképp az upstream hozam 50 l/s értéken marad, amikor 5 hidráns párhuzamosan működik.  $Q_{up}=60$  l/s esetén a relatív nyomásvesztés értékek növekednek, továbbá a kibocsátásban is csökkenés következik be. Az upstream FL-nél mért hozam eléri a megengedett maximális értéket (57,5 l/s), ami számottevő helyi nyomásvesztést eredményez. A rendszer teljesítménye nagyon alacsony még 5 működő hidráns esetében is. A gazdálkodók komoly nehézségekkel szembesülhetnek a földterületeik öntözése során a megfelelő emelőmagasság hiánya miatt még a hidránsok 10 l/s kibocsátási értéke mellett is. Ugyanakkor a megbízhatósági mutatókból látszik, hogy a rendszer teljességgel megbízhatatlan egyaránt  $Q_{up}=50$  l/s, illetve  $Q_{up}=60$  l/s esetén.  $Q_{up}=50$  l/s kibocsátási értéken egy hidráns kivételével a rendszer képtelen kiszolgálni a hidránsokat.



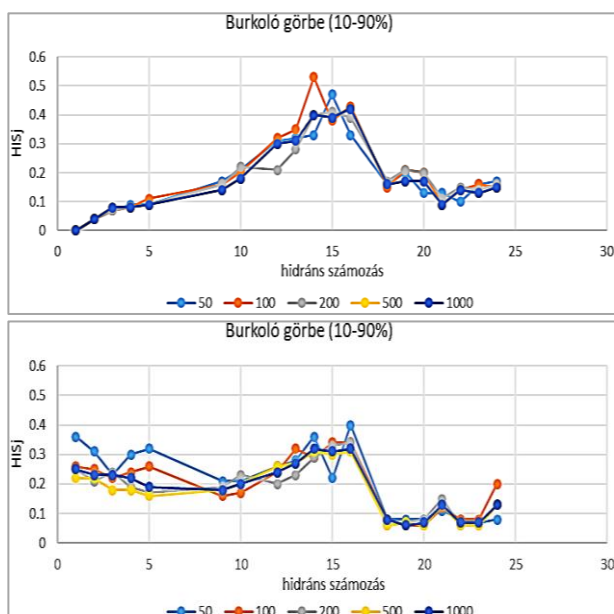
11. ábra. A hidránsok belső érzékenységét jellemző mutató az FLB-HB kombinációban a (a)  $Q_{up}=50$  l/s és  $Q_{up}=60$  l/s értékek 50-100-200-500-1000 véletlenszerű konfigurációja alapján  
Figure 11. Hydrant Internal Sensitivity indicator in FLB-HB combination. (a) 50-100-200-500-1000 configuration of  $Q_{up}=50$  l/s. (b) 50-100-200-500-1000 configuration of  $Q_{up}=60$  l/s

A 10-90%-os maximális nyomásváltozás értéke közel 0,1 a hálózat upstream részén (2 m-nek megfelelő érték), ahol az értékek a pozitívól a negatív nyomástartomány irányába mozognak (13. ábra). Ugyanakkor a nyomásváltozás mértéke növekszik a hálózat közepe felé érve, ezáltal is jelezve a hálózat downstream vége felé tapasztalható relatív instabilitást és rossz teljesítményt, ahol már az összes nyomásváltozási érték a negatív tartományban van. A  $Q_{up}=60$  l/s hozam esetén, illetve az előző esettel összehasonlításban a 10-90%-os maximális nyomásváltozás növekedett az összes szimulált konfigurációban a hálózaton. Ez a szélesebb spektrumú nyomásváltozás rámutat a rendszer upstream végénél tapasztalható nyomáscsökkenésre az FLB által előidézett helyi nyomásvesztések miatt, ezáltal pedig alacsony a rendszer teljesítménye még 5 egyidejűleg használt hidráns esetében is. Ebben az esetben is sikertelen az öntözés a megfelelő emelőmagasság hiánya miatt, még abban az esetben is, ha a hidránsoknál mért hozam értéke 10 l/s.





12. ábra. Az RPD változásai minden egyes hidráns esetén az FLB-HA kombinációban a (a)  $Q_{up}=50$  l/s és (b)  $Q_{up}=60$  l/s értékek 200 véletlenszerű konfigurációja alapján  
Figure 12. Variations of the RPD at each hydrant in FLB-HA combination. (a) 200 random configuration of  $Q_{up}=50$  l/s. (b) 200 random configuration of  $Q_{up}=60$  l/s



13. ábra. A hidránsok belső érzékenységet jellemző mutató az FLB-HA kombinációban a (a)  $Q_{up}=50$  l/s érték 50-100-200-500-1000 véletlenszerű konfigurációja alapján, illetve a  $Q_{up}=60$  l/s érték 50-100-200-500-1000 véletlenszerű konfigurációja alapján  
Figure 13. Hydrant Internal Sensitivity indicator in FLB-HA combination. (a) 50-100-200-500-1000 configuration of  $Q_{up}=50$  l/s. (b) 50-100-200-500-1000 configuration of  $Q_{up}=60$  l/s

## KÖVETKEZTETÉSEK

A cikkben bemutatott kutatás hozzájárult egyaránt a tudományterület elméleti tudásanyagához, illetve az alkalmazott módszertanhoz. Először is a modellezési megközelítés alkalmazása az igény szerint működtethető nyomásos öntözési rendszerek teljesítményértékelésében fontos többlet információt képvisel, az új teljesítménymutató bevezetése pedig annak érdekében fontos, hogy jobban megérthessük a rendszerek működését. Az eredményként kapott mutatók alapján meghatározható a hálózati hibák hatékonysága különféle berendezések esetén. A HISj mutató hatékony módszernek bizonyult a vízszolgáltatás egyenletességének értékelésében. Az elosztás egyenletességének biztosítása növeli a gazdálkodók elégedettségét az öntözéssel és rámutat a hálózat legérzékenyebb pontjaira. Másrészt a jelenlegi megközelítés segít abban, hogy eldöntsük, érdemes-e folytatni a rendszer fejlesztését akár egy új kialakítással és teljes felújítással, vagy helyi megoldások alkalmazásával (gyorsítószivattyúk, időkorlát az aluteljesítő hidránsoknál, a gazdaságokon lévő hálózatok korlátozása stb.). Az egymással összehasonlított, különféle típusú hidránsokon és áramlásszabályzókon alapuló forgatókönyvek rámutatnak a teljesítményalapú tervezés folyamatára. A kapott eredményekből tehát látszik, hogy ez a megközelítés olyan eredményeket szül, amelyek megfelelőbben reagálnak a lehetséges jövőbeli forgatókönyvek változásaira, ezáltal növelve az öntözési szolgáltatás megbízhatóságát. Emellett ez a teljesítményértékelés hozzájárulhat az területi vízigény vezérelt (on-demand) öntözési modellek kollektív hálózatokban való alkalmazásának megismeréséhez. A kibocsátás és a nyomás megváltoztatásának hidránsokra kifejtett hatását is megvizsgálhatjuk, illetve a kapott eredményeket az újabb rendszerek kialakításának és kiválasztásának folyamatában is felhasználhatjuk. A kevésbé szigorú áramlásszabályzók rugalmatlansága a szigorú áramlásszabályzókhoz képest jól példázza a hálózat előre nem látható viselkedését különböző beruházások hatására, illetve a teljesítményértékelés szükségességét a hálózat kialakítása, áttervezése, vagy felújítása előtt. Mivel ez az új integrált megközelítés a nem megfelelően kihasznált hidránsok pontos meghatározhatóságát is lehetővé teszi, ezen hidránsok tervező általi korlátozása során különféle eszközök fejleszthetők ki a vízszolgáltatás és az igények összehangolására. Összességében a bemutatott teljesítményértékelési módszer nagyban hozzájárul a vízhasználat hatékonyságának növeléséhez és a mikro-öntözőrendszerek bevezethetőségének biztosításához.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A Szerzők köszönetüket fejezik ki a Hidrológiai Közlöny főszerkesztőjének, dr. Fehér Jánosnak támogatásáért, amely nélkül a cikk nem készülhetett volna el. Továbbá, a Szerzők hálának dr. Nicola Lamaddalena-nak (CIHEAM, Bari) a hasznos tanácsaiért és témavezetéséért.

## IRODALOMJEGYZÉK

Alcon, F., Tapsuwan, S., Brouwer, R., Miguel, M.D. (2014). Adoption of irrigation water policies to guarantee water supply: A choice experiment, Environmental Science and Policy 44: 227-228.

Alwis, S.M.D.L.K., Wijesekra, N.T.S. (2011). Comparison of performance assessment indicators for evaluation of irrigation scheme performances in Sri Lanka, *Engineer*, XXXIV (3): 39-550.

Andrade, de LT de C., Allen, R. (1999). SPRINKMOD-pressure and discharge simulation model for pressurized irrigation systems, *Model development and description, Irrigation Sciences*, 18 (3): 141-148.

Bakhsh, A., Choudhry, M. R. (2017). *Applied Irrigation Engineering*, University of Agriculture, ISBN 978-969-8237-97-4, Faisalabad, Pakisztán. 13. fejezet, *Pressurized Irrigation Systems*, p. 277.

Balana, B.B., Bizimana, J.C., Richardson, J.W., Lefore, N., Adimassu, Z., Herbst, B.K. (2018). Economic and food security effects of small-scale irrigation technologies in northern Ghana, *Water Resources and Economic*, 141: 2.

Bethery, J., Meunier, M., Peuch, C. (1981). Analyse des défaillances et étude du renforcement des réseaux d'irrigation par aspersion. 11<sup>th</sup> Congress on Irrigation and Drainage: transactions, Grenoble, France, 31 August 1981; Publisher: International Commission on Irrigation and Drainage

Cherni-Cadro, S., Zaccaria, D., Cadro, S. (2015). Assessing the hydraulic sensitivity of pressurized irrigation delivery networks through the MASSCOTE/MASSPRES rational. Sixth International Scientific Symposium "Agrosym 2015", Jahorina, Bosnia and Herzegovina, 15 October 2015; Sixth International Scientific Agricultural Symposium, Book of Proceedings, pp. 1271-1277, ref.9.

Ebeling, C.E. (1997). *An introduction to reliability and maintainability engineering*, Tata McGraw-Hill Education, New York, USA, 23-38.

Elshaikh, A. E., Jiao, X., Yang, S.H. (2018). Performance evaluation of irrigation projects: Theories, methods and techniques, *Agricultural Water Management*, 203: 87.

FAO (2017). *The future of food and agriculture, Trends and challenges*, Róma, Olaszország.

FAO (2019). AQUASTAT (Online) available: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/wateruse/index.stm>

Fletcher, S.M., Miotti, M., Swaminathan, J., Klemun, M.M., Strzepek, K., Siddiqi, A. (2017). Water supply infrastructure planning: Decision-making framework to classify multiple uncertainties and evaluate flexible design, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 143(10): 1-9.

Gupta, R., Bhawe, P. (1994). Reliability analysis of water-distribution systems, *Journal of Environmental Engineering*, 120: 447-460.

Holmelin, N., Aase, T.H. (2013). Flexibility of scope, type and temporality in Mustang, Nepal. Opportunities for adaptation in a farmin system facing climatic and market uncertainty, *Sustainability* 5:1388-1389.

Hutchinson, G., Carran, P., McIndoe, I. (1993). *IRRI-CAD - computerized irrigation design, Management of Irrigation and Drainage Systems: Integrated Perspectives*, Park City, Utah, USA, 835-841.

Juhász Cs., Rátonyi T., Harsányi E., Nagy J., Széles A. (2013). Situation and development possibilities of irrigation in Hungary. *Infrastructure and Ecology of Rural Areas*. 1: 45-54.

Lamaddalena, N., Pereira, L. (1998). Performance analysis of on-demand pressurised irrigation systems. In *Water and the Environment: Innovation Issues in Irrigation and Drainage*, 1<sup>st</sup> ed. - Pereira, L.S. - Gowing, J.W. - E&FN Spon, London, UK, pp. 247-255.

Lamaddalena, N., Pereira, L.S. (2007a). Pressure-driven modelling for performance analysis of irrigation systems operating on demand. *Agricultural Water Management*, 90: 36-44.

Lamaddalena, N., Pereira, L.S. (2007b). Assessing the impact of flow regulators with a pressure-driven performance analysis model, *Agricultural Water Management*, 90: 27-35.

Lamaddalena, N., Sagardoy, J.A. (2000). Performance analysis of on-demand pressurized irrigation systems, 1<sup>st</sup> ed.; Food and Agriculture Organization, FAO Irrigation and Drainage Paper 59., Rome, Italy, pp.1-6.

Lebdi, F., Lamaddalena, N. (2005). Diagnose of pressurized irrigation systems. In *Irrigation systems performance*, 1<sup>st</sup> ed.: Lamaddalena, N.; Lebdi, F.; Todorovic, M.; Bogliotti, C.; CIHEAM, Options Méditerranéennes: Série B. Etudes et Recherches, Bari, Italy, 52: 9-22.

Mango, N., Makate, C., Tamene, L., Mponela, P., Ndengu, G. (2018). Adoption of small-scale irrigation farming as a climate-smart agriculture practice and its influence on household income in the Chinjany Triangle, Southern Africa, *Land*, 7 (49): 2-4.

Miao, Q., Shi, H., Goncalves, J.M., Pereira L.S. (2015). Field assessment of basin irrigation performance and water saving in Hetao, Yellow River basin: Issues to support irrigation systems modernization, *Biosystems Engineering*, 136: 114

Modarres, M., Kaminskiy, M.P., Krivstov, V. (2010). *Reliability engineering and risk analysis: a practical guide*, 3<sup>rd</sup> ed.; CRC Press, Boca Raton, USA, 1-72.

Nagy J. (2012). Versenyképes kukoricatermesztés. In: *A jövedelmezőség kulcs tényezői a szántóföldi gyakorlatban. Mezőgazdasági kiadó*. p. 494.

Nechifor, V., Winning, M. (2018). Global economic and food security impacts of demand-driven water scarcity – Alternative water management options for a thirsty world. *Water* 10(1442): 2.

Pandey, S. (2018). The role of irrigation for food security and sustainability. in *Reference Module in Food Science*, Elsevier.

Renault, D., Vehmeyer, P.W. (1999). On reliability in irrigation service preliminary concepts and application, *Irrigation and Drainage System*, 13: 77-105.

Saltelli, A., Annoni, P. (2010). How to avoid a perfunctory sensitivity analysis, *Environmental Modelling & Software*, 25: 1508-1517.

Stamouli, P., Dercas, N., Baltas, E. (2017). Performance analysis of on-demand pressurized irrigation networks - Case study in Greece, *Water Utility Journal*, 16: 39-55.

Tótfalusi I. (2011). Magyarító Szótár. Magyar nyelv kézikönyvei. Tinta Könyvkiadó.

Walski, T., Brill, E., Gessler, J., Goulter, I., Jeppson, R., Lansey, K., Lee, H., Liebman, J., Mays, L., Morgan, D., Ormsbee, L. (1987). Battle of the network models: Epilogue, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 113 (2): 191-203.

Wood, D.J., Charles, C.O. (1972). Hydraulic network analysis using linear theory, *Journal of the Hydraulics*, 98: 1157-1170.

Zaccaria, D. (2012). Large-Scale Pressurized Irrigation Systems Diagnostic Performance Assessment and Operation Simulation, *Irrigation Systems and Practices in Challenging Environments*, InTech, ISBN: 978-953-51-0420-9, Available from: <https://cdn.intechopen.com/pdfs/34116.pdf>

## A SZERZŐK



**MOHANNAD ALOBID** a Debreceni Egyetem Ihrig Károly Gazdálkodás- és Szervezéstudományok Doktori Iskola PhD hallgatója. Korábban a CIHEAM Bari Kutatóintézet mesterszakos hallgatójaként öntözésfejlesztést és vízgazdálkodást tanult, valamint kutatóasszisztensként vízhozam monitoring rendszer fejlesztéséért volt felelős fejlődő országokban. Ennek keretében egy hónapot töltött Ugandában, ahol a felszíni öntözőrendszer hozam-mérésének implementációját követte nyomon.



**PÉK ÉVA** az ENSZ Mezőgazdasági és Élelmezési Szervezetének, Land and Water Division, water-management and governance szakmai csoportjának alkalmazottja. Agrármérnökként fejlődő országok – elsősorban Nyugat-Afrika, Kelet-Afrika, Közép-Ázsia és a MENA régió – mezőgazdasági vízgazdálkodásának fejlesztésével foglalkozik. Kutatási területei közé tartozik a kisléptékű öntözőrendszerek teljesítménymérése, monitoring rendszerek fejlesztése és kalibrálása, valamint a vízgazdálkodási programok hatáselemzése.



Illusztráció: Nyomásos öntözőrendszer (Forrás: [http://www.publicdomainfiles.com/show\\_file.php?id=13965027019088](http://www.publicdomainfiles.com/show_file.php?id=13965027019088))

## Tározóvízállás előrejelezhetőségének vizsgálata a Kebele-patak vízgyűjtőjén

Nagy Eszter Dóra

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék, doktorandusz (nagy.eszter@epito.bme.hu)

### Kivonat

Az egyre gyakoribbá váló villámárvizek sürgetik a hazai csapadék-lefolyás modellezési gyakorlat fejlesztését kis és közepes hazai vízgyűjtőinken. Ennek a törekvésnek részeként állítottam össze a Kebele tározónak és vízgyűjtőjének csapadék-lefolyás modelljét, mely a tározó vízállásának rövid távú előrejelzésére fókuszál. A kutatás során 5 kiválasztott eseményre kalibráltuk a modellt, majd ugyanezen eseményekre készült az előrejelzés.

A kutatás fő célja a leghatékonyabb modellstruktúra kijelölése, emiatt kezdetnek egy determinisztikus, összevont paraméterű, esemény alapú modellt használtam. A tározó bonyolultsága miatt szükség volt a tározás számítás csapadék-lefolyás modellen kívüli programozására.

Az eredmények alapján kijelenthető, hogy a csapadék nagyságrendileg megfelelő előrejelzése esetén lehetséges a tározó vízállásának deciméteres pontossággal történő modellezése, még egy ilyen egyszerű modell használatával is. A vizsgálatok másik fontos aspektusa volt az ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) adatbázisából nyert re-analízis és előrejelzett csapadékmézők használhatóságának vizsgálata. A tapasztalatok alapján kijelöltem a modell fejlesztésének további lehetőségeit, melyek remélhetőleg a közeljövőben megvalósításra kerülnek. A kutatás hosszú távú célja a kidolgozott modellezési módszertan igazolása több (lehetőleg hazai) vízgyűjtő bevonásával.

### Kulcsszavak

Tározó, előrejelzés, csapadék-lefolyás modellezés, HEC-HMS, MATLAB.

## Reservoir water level forecasting in a medium-sized Hungarian catchment

### Abstract

The increasing frequency of flash floods requires improved rainfall-runoff modelling practices in Hungary. For such a purpose, a rainfall-runoff model of the Kebele reservoir and its watershed was formulated with a focus on the short-term forecast of the reservoir water levels. Five events were selected for the calibration of the model, then the same events were used for quantifying the forecast performance. The aim of the study is to identify the most efficient model structure for water level forecasting in small catchments. Initially, a deterministic, event-based, lumped model was set up. The complex outflow structures of the reservoir required a script to calculate the storage in the reservoir. Based on the results – provided the rainfall forecast is on target at least in its magnitude – the reservoir water level can be satisfactorily predicted, even using such a simple model. The study's other aim was to test the applicability of the re-analysis and forecasted precipitation grids available in the ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) database for the same purpose. Directions for future model improvements were identified. Hopefully, these upgrades will be achieved in the near future and the modelling methodology will be validated on additional reservoirs.

### Keywords

Reservoir, forecast, rainfall-runoff modelling, HEC-HMS, MATLAB.

### BEVEZETÉS

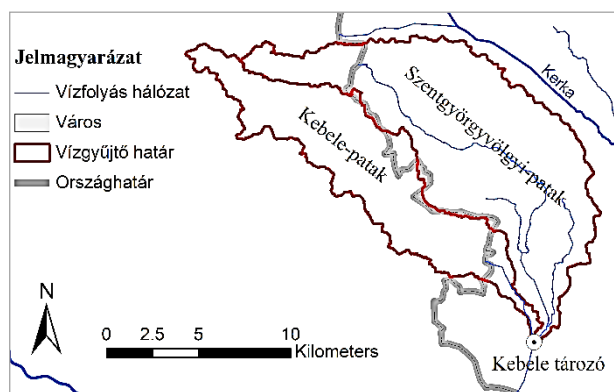
A klímaváltozás hatására egyre gyakrabban érik kis és közepes vízgyűjtőinket igen nagy intenzitású csapadékok (Mattányi és társai 2015), melyekből keletkező heves lefolyású árhullámok szélsőséges terhelésnek teszik ki a tározókat országszerte. Az elmúlt néhány évtizedben megszaporodott azon esetek száma, amikor ezek a tározók a mértékadó állapotnál nagyobb terhelésnek lettek kitéve. Ezekben az esetekben állékonyasági problémákkal, alvízi elöntéssel, ezeknek következtében pedig akár a lakosság kitelepítésének lehetőségével kell szembe néznie a védekezésben részt vevő szakembereknek. Ilyen helyzetekben felkészülés- és döntéstámogató lehet az előrejelzett csapadékból számított tározóvízállás előrejelzés még abban az esetben is, ha a vízgyűjtő méretéből és az árhullámok gyors levonulásából adódóan csak riasztás jellegű előrejelzés készíthető (Lászlóffy 1962). Hazai viszonylatban először grafikus módszerek kerültek alkalmazásra (Zsuffa 1969, Dely

1974), majd az 1980-as években került előtérbe az előrejelzések készítése kisebb vízgyűjtőkre számítógép segítségével (Salamin 1983). Mindemellett elmondható, hogy nem rendelkezünk általánosan elfogadott és alkalmazott csapadék-lefolyás modellező gyakorlattal, mely meghatározná a magyarországi vízgyűjtőkre megbízhatóan alkalmazható szoftvert és módszertant (Szilágyi 2007, Pirkhoffer és társai 2010). A kutatás alapvető célja az alkalmazott szoftverek, adatok, eljárások használhatóságának minősítése és a további fejlesztési lehetőségek kijelölése.

### VIZSGÁLT TERÜLET BEMUTATÁSA

A vizsgált mintaterület a Nyugat-dunántúli Vízügyi Igazgatóság területén található Kebele tározó és annak vízgyűjtője. A tározóba érkező vízfolyások a Kerka-Mura vízrendszerhez tartozó Kebele- és a Szentgyörgyvölgyi-patakok, melyek vízgyűjtő területe rendre 66 és 114 km<sup>2</sup>. A terület áttekintő térképét az 1. ábra szemlélteti.





1. ábra. Mintaterület áttekintő térképe  
Figure 1. Map of the study area

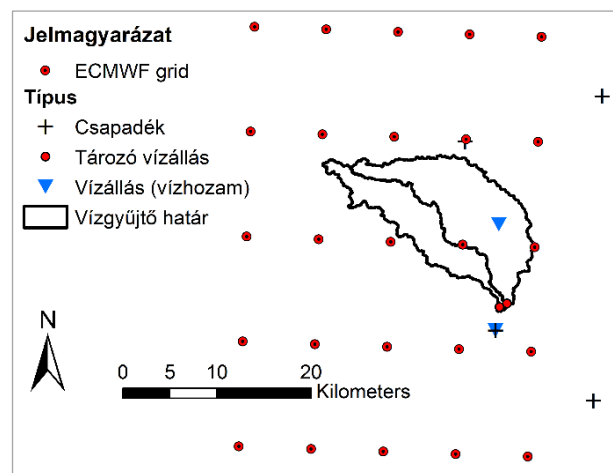
A vízgyűjtőn a területhasználat közel 1:2 arányban erdős, illetve mezőgazdasági jellegű, a városias területek aránya elenyésző. A területen jellemző fizikai talajfésülés a vályog, mely típusa szerint a „gyenge víznyelésű, igen gyenge vízvezető-képességű, erősen víztartó, igen kedvezőtlen, szélsőséges vízgazdálkodású talajok” csoportjába tartozik (<https://maps.rissac.hu:3344/webappbuilder/apps/2/>). A teljes, 180 km<sup>2</sup>-es vízgyűjtő területéhez tartozó leghosszabb lefolyási úthossz 34 km, melyhez 195 m szintkülönbség mellett átlagosan 0,6% esés tartozik. A két rész-vízgyűjtő morfológiája nem teljesen azonos. A Kebele-patak elnyújtottabb alakjából adódóan fajlagosan kisebb tetőző vízhozamok, nagyobb eséséből adódóan viszont rövidebb összegyülekezési idő várható.

A vízgyűjtőn létesített tározó célja az alvízi mezőgazdasági területek árvízi elöntésének mérséklése. A tározó tehát zöldtározóként üzemel, az árvízmentes időszakok során a tározótér üres. A tározótér területe nem tartozik teljes egészében a Vízügyi Igazgatósághoz, így a magánterületek elöntése esetén a tulajdonosoknak kártérítés fizetendő az elöntési idő alapján. A vízállás előrejelzésének (ezzel együtt az elöntési idők becslésének) jelentős gyakorlati haszna volna a kártérítési költségek mérséklésében, mely a tározó üzemeltetésekor annak gazdaságos kezelését is elősegítené. A tározó különlegessége, hogy a két vízfolyás két külön műtárgyon kerül átvezetésre a tározó töltésén. A vízfolyások vízhozamaival arányosan kialakított átereszes, síktáblás elzárással szabályozható műtárgyak és az árapasztó bukók biztosítják az árhullámok levezetését. A mértékadó vízhozamokat megfelelő mennyiségű mért adat hiányában (hidrológiai analógiát feltételezve) a szomszédos Kerka és a távolabbi Zala vízgyűjtők mért idősoraira támaszkodva, valamint empirikus módszerek segítségével határozták meg (Szilágyi 2007). A tározóba érkező mértékadó terhelésnek a 100 éves visszatérési idejű 94 m<sup>3</sup>/s-os vízhozammal tetőző, 7,5 millió m<sup>3</sup>-es árhullámot tekintették, melyet 24 órás, 130 mm-es csapadékösszeg vált ki a Kebele-patakon 0,35-os, a Szentgyörgyvölgyi-patakon 0,27-os lefolyási hányad mellett.

## FELHASZNÁLT ADATOK

A vízgyűjtő modellje az ingyenesen letölthető (<https://land.copernicus.eu/imagery-in-situ/eu-dem/eu-dem-v1.1?tab=download>) EU-DEM (Digital Elevation Model over Europe) terepmodell segítségével készült. A tározó műszaki paramétereit a Nyugat-dunántúli Vízügyi

Igazgatóság bocsájtotta rendelkezésre. Ismertek a tározó morfológiai jelleggörbéi, a tározó üzemrendje (azaz a különböző üzemállapotokhoz tartozó zsilipnyítások), valamint a tározó műtárgyainak fontosabb méretei. Vízirajzi adatok tekintetében két szelvényre készült mért vízállásból származtatott vízhozam idősor, valamint a tározó két műtárgyánál rögzített tározó vízállás idősor, szintén a Nyugat-dunántúli Vízügyi Igazgatóság jóvoltából. A felhasznált csapadék adatok az ECMWF re-analízis adatbázisából (<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/home>) származó, grid alapú, órás csapadékmezők. Ezen adatok térbeli felbontása 0,1°x0,1° (7,6x11,1 km). A Nyugat-dunántúli Vízügyi Igazgatóság több felszíni állomást is üzemeltet a vízgyűjtő terület közelében, azonban ezen állomások adatai nem voltak minden esetben használhatók a csapadék-lefolyás modellezés során. Mindemellett az előrejelzett csapadékidősorok is az ECMWF adatbázisból származtak az Országos Meteorológiai Szolgálat jóvoltából, így végül azonos forrásból származó adatokkal került futtatásra a modell a kalibráció és az előrejelzés során is. A grid rácspontjait és a felszíni állomások elhelyezkedését a vízgyűjtőhöz viszonyítva a 2. ábra szemlélteti.



2. ábra. A felszíni mérőállomások és a csapadékmező rácspontjainak elhelyezkedése

Figure 2. Location of the gauging stations and layout of the precipitation grid

## MODELL FELÉPÍTÉSE

A modell felépítésének megválasztásakor alkalmazott alapelv, hogy a kutatás során az egyszerűbbtől haladjunk az összetettebb modellek felé. Ezáltal ellenőrizhetővé válik, hogy a modell részletezésével, bonyolításával milyen javulás érhető el az eredményekben. Amennyiben nem érhető el javulás, elkerülhető az alkalmazott modell felesleges túlbonyolítása. Kezdeként egy determinisztikus, összevont paraméterű, esemény alapú csapadék-lefolyás modell került összeállításra a HEC-HMS szoftver segítségével, mely egy amerikai fejlesztésű, ingyenesen hozzáférhető (bár nem nyílt forráskódú) program. Ezt a modellt már többször alkalmazták sikeresen hazai vízgyűjtők modellezésére (Pirkhoffer és társai 2010, Széles és társai 2010, Nagy E. D. és társai 2016, Nagy G. és társai 2016). A tározó, összetettsége miatt, nem volt beépíthető ebbe a modellbe, így a tározást számító modul külön került programozásra MATLAB használatával. Utóbbi a Mathworks által fejlesztett programozási nyelv és program. Annak el-

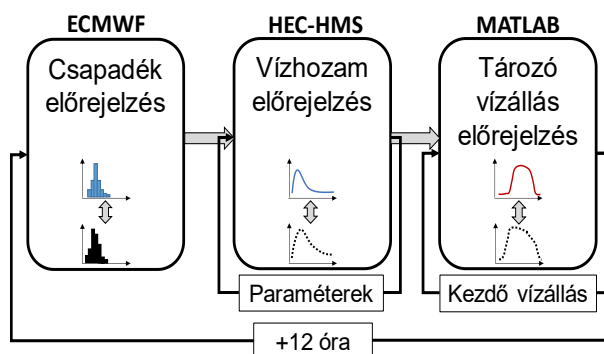
lenére, hogy a program nem ingyenesen hozzáférhető, széleskörben alkalmazott szoftver. Erőssége a numerikus számítások végzése, valamint az eredmények igényes és könnyű megjeleníthetősége. Ezáltal saját készítésű funkciókon és/vagy egy rövid feladat megoldására szolgáló rövid programon (szkripteken) keresztül (más nyelvekhez képest) könnyen és gyorsan írhatók saját modellek, mint arra esetemben is szükség volt.

A csapadék-lefolyás modell összeállításakor a kalibrálható paraméterek számának minimalizálása volt a cél. A legtöbb paramétert a rendelkezésre álló adatok alapján határoztam meg. A vízfolyás szakaszok medergeometriáját meg lehetett határozni terepmodell segítségével, míg a mederérdesség közepesnek lett felvéve szakirodalmi értékek alapján (*US Army Corps of Engineers 2000*). Az összegyűlekezési időt *Wisnovszky* összefüggésével becsültem (*Wisnovszky 1958*). A fennmaradó paraméterek úgy választottam meg, hogy összesen egy szabad paraméter maradjon, mely kezdeti feltételként minden eseményre kalibrálható. Ez célszerűen a hatékony csapadék meghatározásánál szükséges, a talaj kezdeti telítetlenségét jellemző paraméter.

A külön futtatott tározást számító modul két módon alkalmazható. A normál módban történő futtatás a kalibráció során használható, míg az előrejelző mód értelemsszerűen az előrejelzés futtatására alkalmas. Mindkét esetben a megadott üzemállapothoz tartozó műtárgy teljesítőképességi görbe számításával kezdődik a futtatás. Kalibráció esetén visszaszámításra kerül a mért alvízi vízhozam és a tározó vízállás idősorok segítségével a tározóba érkező vízhozamok idősora. Erre természetesen az előrejelzés esetén nincs lehetőség, hiszen ekkor nem ismerjük a mért idősorokat. Mivel a tározó morfológiai görbéje is rendelkezésre áll, a műtárgy teljesítőképességi görbéje is rendelkezésre áll, a tározóváltozás számítható a kezdeti tározó vízállás és a beérkező vízhozamok idősora alapján. Utóbbi a tározó-egyenlet explicit, időben retrográd, 0D differenciasémával való megoldásával történik. Normál futtatás esetén a modul eredményül adja a mért és modellezett idősorok összehasonlító ábráját a tározóba érkező, illetve alvízen távozó vízhozamokra, valamint a tározó vízállására mindkét műtárgy esetén (hiszen a két műtárgyra külön mért idősor áll rendelkezésre). Előrejelzés esetén az előrejelzett tározó

vízállás és az elöntési idők, illetve legnagyobb elöntési mélységek térképe kerül előállításra. Utólag, a mért idősorok alapján számszerűsíthető az előrejelzett csapadék, a Szentgyörgyvölgyi-patak részvízgyűjtőjére előrejelzett vízhozam, és az előrejelzett tározóvízállás hibája. Előbbiek esetén a térfogati eltérés, utóbbi esetén a tetőző vízállás eltérése fejezi ki a modell jóságát.

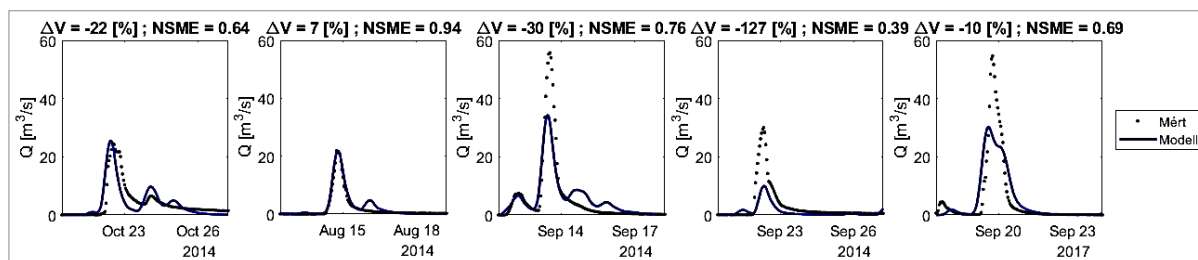
A csapadékmezők előrejelzése 12 óránként történik, óras időlépésben, Nyugat-európai idő szerint 0 és 12 órakor. Az egyes események 6 időlépésben kerültek futtatásra, tehát minden modellezett esemény 3 napot ölel fel. Az előrejelzett csapadék idősorok felhasználásával történt a vízhozam idősorok előrejelzése. Az előrejelzett vízhozam idősorok előállítását után, azok felhasználásával került futtatásra a tározó vízállásának előrejelzése. A futtatások a csapadék-lefolyás modellben és a tározást számító modulban is meleg indítással készültek. Az előrejelzés folyamat-ábrája a 3. ábrán látható.



3. ábra. Előrejelzés folyamat-ábrája  
Figure 3. Workflow of forecasting

## EREDMÉNYEK

A csapadék-lefolyás modell kalibrálásához 5 esemény került kiválasztásra (4. ábra). A kiválasztáshoz szükséges feltételek: a) rendelkezésre álljanak mért vízhozam és csapadék idősorok (illetve a későbbi tározás számításához vízállás idősorok is) az esemény teljes időtartamára, b) az esemény a hómentes, nyári (április-október) időszakba essen, c) a tetőző vízhozam meghaladjon egy bizonyos küszöbszintet, mely a meder normál üzemnél vett vízállítókapacitásával azonos  $13 \text{ m}^3/\text{s}$ -ot jelentette.



4. ábra. Csapadék-lefolyás modell kalibrációja  
Figure 4. Calibration of the rainfall-runoff model

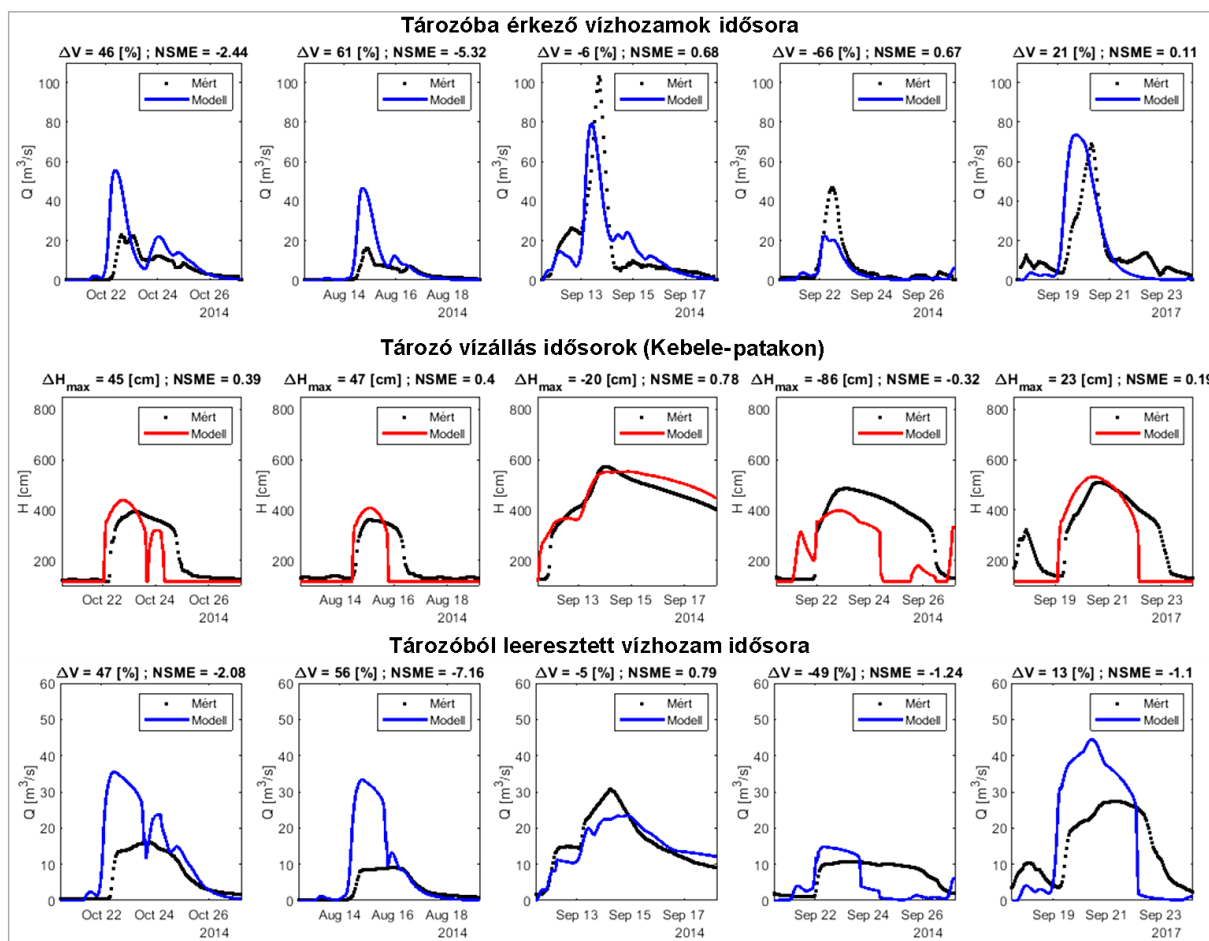
A modelleredmények jóságának jellemzésére a százalékos térfogati eltérést ( $\Delta V$ ) és a Nash-Sutcliffe modellhatékonysági mutatót (NSME) alkalmaztam (*Nash és Sutcliffe 1970*). Utóbbi esetén kielégítőnek tekintettem az egyezést a 0,5 – 1,0 tartományban, nem megfelelőnek te-

kintettem az egyezést a 0,0 – 0,5 tartományban. Az eredményekből látható, hogy a modell alapvetően a lefolyás mennyiségének számítására alkalmas, az árhullámok alakját már kevésbé kielégítően adja vissza. A tározás számításához azonban elsősorban a térfogatok megfelelő köze-

lítésére van szükség, így a kalibráció eredménye kielégítőnek mondható. A modell igazolásának egyik lehetséges módja egy tapasztalati összefüggés kalibrálása az előrejelzés készítésének időpontjában ismert paraméter és a kezdeti telítetlenséget jellemző modellparaméter között. Az eddig modellezett 5 esemény esetén lineáris összefüggés figyelhető meg a kezdeti telítetlenség és a csapadékösszeg között, azonban további események bevonása szükséges ahhoz, hogy bizonyossá váljon a kapcsolat.

Mivel a csapadék-lefolyás modell csak a mért részvízgyűjtőre került kalibrálásra, a kalibrált telítetlenséget jellemző paraméter a másik vízgyűjtőre is beállításra került, hidrológiai analógiát feltételezve. Ezáltal előállt a tározóba érkező vízhozamok idősora, mely a tározást számító modul bemenő adatait képezi. A tározás számítás eredményeit bemutató 5. ábra első sora a tározóba érkező vízhozamok idősorát mutatja. (Ez esetben a mért értékek a mért alvízi hozamból és tározó vízállásból visszaszámolt beérkező hozamokat jelentik, míg a modellezett értékek a csapadék-lefolyás modell által számított idősort mutatják, amint az

korábban ismertetésre került.) Az első két bemutatott esemény eredményeiből látható, hogy a modell túlbecsüli a tározóba érkező vízhozamokat, így a tározóban kialakuló vízállást és az alvízi hozamokat is. Ennek oka feltehetően a csapadék-lefolyás modell nem megfelelő kalibrációja. A harmadik esemény esetében kielégítő pontossággal adta vissza a modell a mért idősorokat. A negyedik eseménynél azonban minden változót alábecsült a modell. Ezt feltehetően az igen alacsony bemenő csapadék okozza. Az utolsó esemény esetében az alvízi hozamok túlbecslése a szembevető, annak ellenére, hogy a tározóba érkező hozamok és a tározó vízállás is jó egyezést mutat. Ez esetben előfordulhat, hogy a valóságban kisebb zsilipnyitások révén alacsonyabb vízhozamok keletkeztek az alvízen, mint a modellben feltételezett üzemállapot esetén. A modellezett és mért vízállások eltérésének abszolút értéke a legrosszabb esetben 86 cm, legjobb esetben 20 cm. Összességében megállapítható, hogy az eredmények javításra szorulnak, azonban a tározóvízállás közelítő, deciméteres pontosságú becslése egyáltalán nem lehetetlen feladat.



5. ábra. Tározás számító modul eredményei (kalibráció)

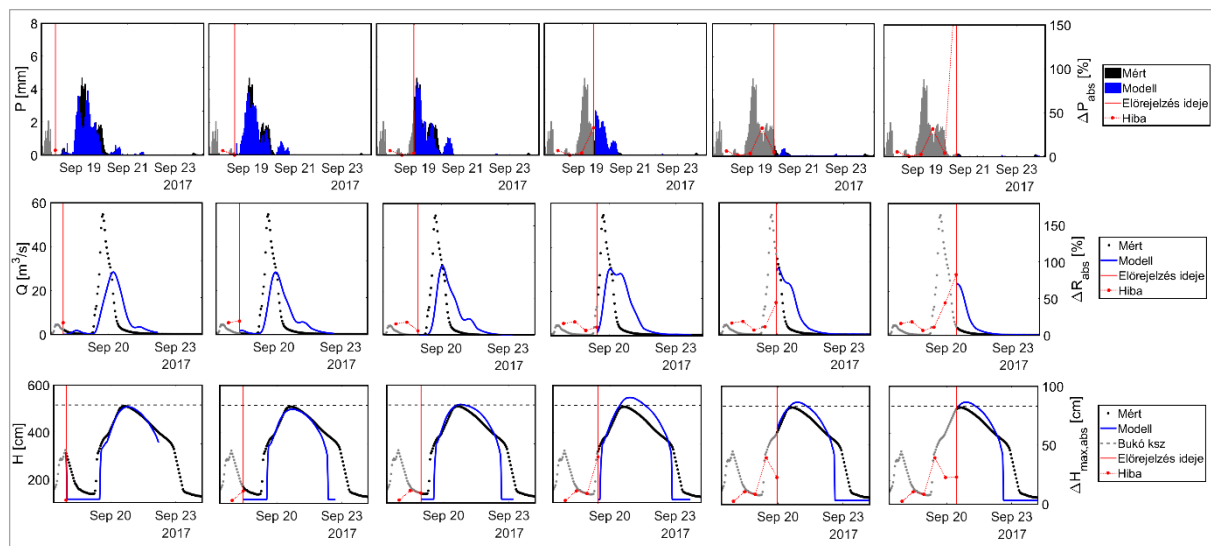
Figure 5. Results of the reservoir module (calibration)

Az előrejelzés esetében az ábrák terjedelme miatt csak a legjobb és legrosszabb eredmények kerülnek bemutatásra a 6. és 7. ábrán. Minden sor esetén az ábra bal tengelyén kerül feltüntetésre a változó értéke, a jobb tengelyen pedig az előrejelzés hibájának értéke. A legjobb eredményt az utolsó, mértékadóhoz közeli esemény ese-

tén adta a modell. Ebben az esetben a tetőző vízállás abszolút eltérése 2 cm és 39 cm között változik. Látható, hogy a csapadék előrejelzés hibája is 2% és 34% között mozog. A legrosszabb esetben azonban a deciméteres pontosságú becslés sem igen valósul meg, feltehetően annak köszönhetően, hogy az előrejelzett csapadék hibája

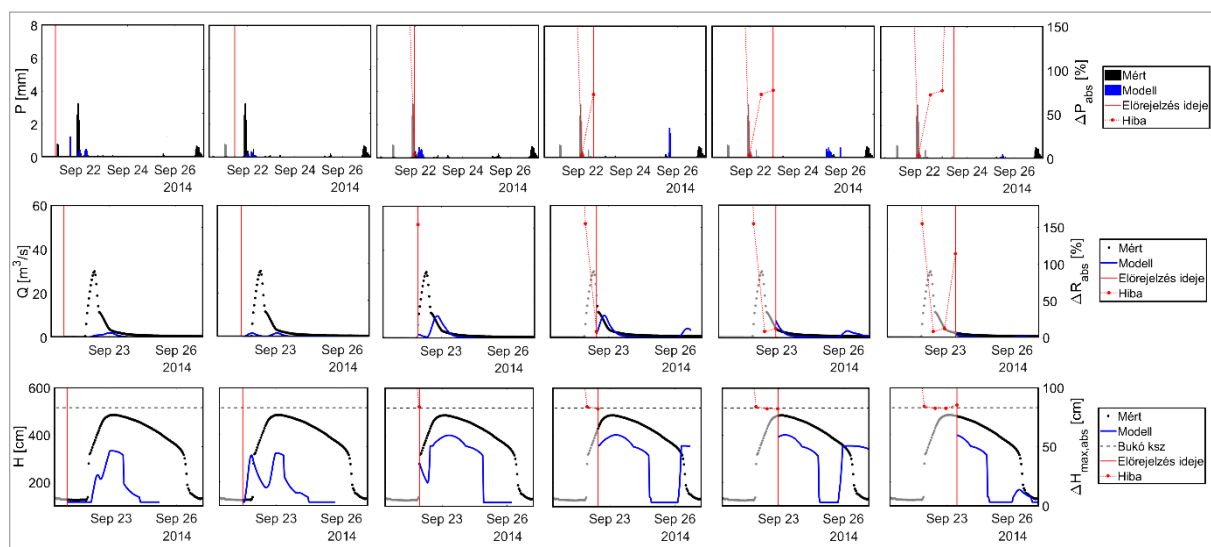
is igen nagy, az árhullámot kiváltó csapadék az előrejelzésből szinte teljesen hiányzik. Az eredményekből alapvetően az látszik, hogy az előrejelzett csapadék nagyságrendi megfelelősége esetén a tározó vízállás kellő pontossággal előrejelezhető. Biztató eredmény azonban, hogy a vizsgált 5 esemény közül mindössze egyetlen ese-

ménynél nem volt kielégítő az előrejelzett csapadék. Ennek oka lehet, hogy az adott csapadékot olyan mezo-skálájú jelenség okozta, mely az előrejelző modell térbeli és/vagy időbeli felbontásával azonos nagyságrendű. Ezen események előrejelzése nem, vagy csak részben lehetséges (Bonta és Takács 1989).



6. ábra. Előrejelzés eredménye a legrosszabb esetben

Figure 6. Worst results of the forecast



7. ábra. Előrejelzés eredménye a legjobb esetben

Figure 7. Best results of the forecast

## ÖSSZEFOGLALÁS

A kutatás során sikeresen modellezésre és előrejelzésre került a Kebele-patakon található zöldtározó vízállása. A modellezés során alkalmazhatónak bizonyultak az ECMWF adatbázisból származó re-analízis és előrejelzett csapadémezők. Az eredmények alapján kijelenthető, hogy a vízállás deciméteres pontossággal, 2 nappal előre történő előrejelzése megvalósítható célkitűzés. Egyértelmű azonban, hogy a modell több szempontból is fejlesztendő. Jelen állapotában a modell futtatása nehézkes, kalibrációja tovább pontosítható. A modell javításának kijelölt főbb lépései prioritási sorrendben a) a számítási lépések (csapadék-lefolyás modellezés és tározás számítás) megvalósítása azonos (MATLAB) környezetben, b) modellparaméterek pontosabb meghatározása/kalibrálása, c) determinisztikus

megközelítés helyett sztochasztikus megközelítés alkalmazása. Az első lépés lényegesen rugalmasabbá teszi a csapadék-lefolyás modell kezelését és könnyíti, gyorsítja a futtatások végzését. MATLAB környezetben a paraméterek könnyebb, részletesebb kalibrálása és egyéb, a HMS-ből hiányzó módszerek bevonása is lehetséges (például neurális háló alkalmazása). A kalibráció pontosításának részeként a Kebele-patak és a Szentgyörgyvölgyi-patak alsó vízgyűjtője részben kalibrálható volna a tározóba érkező visszaszámitott idősorok felhasználásával. Emellett lehetőség van bizonyos paramétereket (összegyülekezési időt, medererdességet) konstans érték helyett változó értékkel figyelembe venni. Ehhez azonban szükséges vizsgálni további, modellezhető események bevonásának lehetőségét. Célszerű felülbírálni a műtárgyhidraulikai számításokat is,



és igazolni a számított teljesítőképességi görbék helyességét. Ezt követően célszerű áttérni a sztochasztikus megközelítésre és a tározó vízállást konfidencia sávokkal együtt előrejelezni. Erre lehetőség van az ECMWF által előállított 51 tagú ensemble előrejelzés felhasználásán keresztül, illetve a kalibrált modell paramétereinek perturbálásán keresztül. Amennyiben a modell alkalmazása megtörténik más hazai tározókra, a módszertan hazai alkalmazhatósága is igazolásra kerül.

### KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A tanulmány alapjául szolgáló kutatást az Emberi Erőforrások Minisztériuma által meghirdetett Felsőoktatási Intézményi Kiválósági Program támogatta, a BMEFIKP-VÍZ tématerületi programja keretében. Köszönet illeti az adatszolgáltatásban nyújtott segítségért a Nyugat-dunántúli Vízügyi Igazgatóság és az Országos Meteorológiai Szolgálat munkatársait.

### IRODALOMJEGYZÉK

Bonta I., Takács, Á. (1989). Heves esőzés kialakulása és előrejelzése. Hidrológiai Közlöny, 69. évf., 1. szám, pp. 24–32.

Dely G. (1974). Hidrológiai előrejelzés a fehérvárcsurgói tározó üzemeléséhez, a bakonyánai kísérleti vízgyűjtő adatainak felhasználásával. Hidrológiai Közlöny, 54. évf. 5. szám, pp. 237–239.

Lászlóffy W. (1962). A hidrológiai előrejelzések fejlesztésének jelentősége és lehetőségei. Hidrológiai Közlöny, 42. évf. 3. szám, pp. 192–200.

Mattányi Z., Homolya E., Turczi, G. (2015). A klímaváltozás hatása a villámárvíz kockázatra. D4.10 kutatási jelentés.

Nagy E. D., Torma P., Bene K. (2016). Comparing Methods for Computing the Time of Concentration in a Medium-Sized Hungarian Catchment. Slovak Journal of Civil Engineering, 24(4), pp. 8–14. doi: 10.1515/sjce-2016-0017.

Nagy G., Ronczyk L., Czigány S. (2016). Numerikus modellezés lehetőségei az Orfői-tórendszer példáján. Földrajzi Közlemények, 140(3), pp. 189–203.

Nash J. E., Sutcliffe J. V. (1970). River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles. Journal of Hydrology, 10(3), pp. 282–290. doi: 10.1016/0022-1694(70)90255-6.

Pirkhoffer E., Szabolcs C., Geresdi, I. (2010). Villámárvizek modellezhetősége Magyarországon. Térinformatikai konferencia és szakkiállítás 2010. Debrecen, pp. 305–312.

Salamin A. (1983). Kisvízfolyások árvízi előrejelzésének önszabályozó módszere. Hidrológiai Közlöny, 63. évf. 2. szám, pp. 73–88.

Széles B., Torma P., Hajnal G. (2010). A Bükkös-patak vízgyűjtőjének hidrológiai vizsgálata. Hidrológiai Közlöny, 90. évf. 3. szám, pp. 39–46.

Szilágyi E. (2007). A Kebele patakon megépíteni tervezett árvízvédelmi tározó hidrológiai alapja. Hidrológiai Közlöny, 87. évf. 2. szám, pp. 51–55.

US Army Corps of Engineers (2000). Hydrologic Modeling System. HEC-HMS Technical Reference Manual.

Wisnovszky I. (1958). Az összegyülekezési idő számítása. Hidrológiai Közlöny, 38(3), pp. 195–200.

Zsuffa I. (1969). Az árvízcsökkentő tározók hidrológiai kérdései. Hidrológiai Közlöny, 49. évf. 5. szám, pp. 200–210.

### A SZERZŐ



**NAGY ESZTER DÓRA** 2018-ban szerzett okleveles infrastruktúra-építőmérnök diplomát a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőmérnöki Karán. Jelenleg ugyanitt a Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék másodéves doktorandusz hallgatója. Kutatási témája kisvízgyűjtők csapadék-lefolyás kapcsolatának modellezése. 2016 óta a Magyar Hidrológiai Társaság tagja.

## Fórum

A Hidrológiai Közlöny 100. évfolyamának számaiban a Szakmai cikkek, illetve a Fórum rovatokban – szerkesztőségünk felkérése alapján – a Vízügyi Igazgatóságok szakembereinek tollából készült tanulmányokat közlünk, amelyekben bemutatják az Igazgatóságok működési területére jellemző vízgazdálkodási kérdéseket. Szintén felkérés alapján a Magyar Hidrológiai Társaság szakosztályai is készítenek tanulmányokat áttekintve szakmai területük múltját, jelenét és várható fejlődési irányait.

Az alábbiakban dr. Ákoshegyi Györgynek, az MHT Balneotechnikai szakosztály elnökének írását közöljük, amelyben bemutatja a szakosztály történetét, tevékenységi körét.

### Az MHT Balneotechnikai szakosztályának története, tevékenysége

Ákoshegyi György

a Magyar Hidrológiai Társaság Balneotechnikai szakosztályának elnöke (akoshegyi.gyuri@gmail.com)

#### A MEGALAKULÁS

A Magyar Hidrológiai Társaság (MHT) a Társaság 75. évfordulója alkalmából, 1992-ben a következőket írta a szakosztályról: „Az MHT Balneológiai Szakosztálya, mint a Balneotechnikai Szakosztály jogelődje 1952 májusában alakult. Célja a hazai fürdőügy szakembereinek, a balneológia elméleti és gyakorlati kérdéseivel foglalkozók összefogása volt. 1967-ben a MOTESZ tagegyesületeként megalakult Magyar Balneoklimatológiai Egyesület, a szakterület orvosainak fórumává vált, s így a Társaság 1968. évi közgyűlésének határozata értelmében a szakosztály Balneotechnikai Szakosztály névvel újjáalakult, még ugyanazon évben. A megváltozott név is jelzi, hogy sokkal szélesebb, elsősorban a fürdőügy műszaki-természettudományi kérdéseivel kívánnak foglalkozni a tagok. A Balneológiai Szakosztály alakulása: 1952. május 15. A Balneotechnikai Szakosztály megalakulása: 1968. április 22. Munkaterületünk az összetett fürdőtechnikai-balneotechnikai kérdéseknek megfelelően a fürdővíz beszerzésétől annak újra felhasználásáig szélesedik. Ily módon vízföldtani, vízminőségvédelmi, vízgazdálkodási-vízkezelésgazdálkodási, technológiai, vízjogi stb. kérdésekkel foglalkozunk. Nem szorul háttérbe a balneológiai kérdések vizsgálata. Szoros kapcsolatot tartunk a Magyar Balneológiai Egyesülettel.”

#### AZ ELMÚLT 25 ÉV

A fentieket folytatva szeretném összefoglalni az ezt követő 25 év történeteit, sikereit és tanulságait.

Hazánkban a lakosság több mint 2000 éve ismerte a meleg forrásokat és azok gyógyászati értékét. A török megszállás idején számos fürdő épült, és az utazók messze földre elvitték azok jó hírét. Több emlékeztető történet után a fürdők növekvő mennyiségű építése és a fürdőkultúra fejlődése a 19. században indult be igazán. A fürdőkben a medencevíz és a gyógyításra használt víz, valamint a zuhanyvíz részben vagy teljesen felszín alatti hévízből származott. Már a legelső fürdők is tulajdonosai voltak a medencéket ellátó forrásoknak és kutaknak. A 20. század közepére vált igazán tömegessé a fürdők látogatottsága, mennyiségileg jelentős fejlődés történt. Ekkor kezdtek jelentkezni az első minőségi

problémák a fürdők vízellátásában, a medencevizek higiénijában és a kibocsátott szennyvizekben.

Hazánk gazdag termásvíz készlete sokáig kiszolgáltatta a töltő-ürítő rendszerű fürdő-medencékkel üzemelő létesítmények növekedő vízigényét, de az 1960-as években már szükségessé vált a termál és gyógyvizek mennyiségi védelme, valamint az egyre jobban szaporodó egészségügyi problémák felszámolása. Az illetékes kormányzati szervek egyre szigorúbb jogi szabályozásokkal igyekeztek a problémákat megoldani. 1968-ban született meg az első olyan szabályozás, amely foglalkozott a fürdővizek higiénijával és a fürdőmedencék vízforgatásával. A fürdők létesítésének és üzemeltetésének korszerű szabályait az 1996. évi 37/1996 sz. Népjóléti Miniszteri rendeletben határozták meg. Ez a jogszabály akkor nagy előrelépést jelentett, sajnos azóta csak módosításokkal igyekeztek a fürdők fejlődésének, korszerű üzemeltetésének megfelelő keretet adni, de teljes körűen ez máig sem sikerült! Szakosztályunk a Magyar Fürdőszövetséggel és minden érdekelten együtt részt vett egy új jogszabály elkészítésében, ami több mint 10 éve bolyong a hivatalok útvesztőjében, eredmény nélkül!

Az 1990-es évek első fele elsősorban a privatizációról, az új tulajdonviszonyok kialakításáról szólt. Ez a fürdőket közvetlenül érintette abban a tekintetben, hogy a legtöbb fürdő a korábbi víz és szennyvíz vállalatok üzemeltetésében és részben tulajdonában is voltak. Ezek a vállalatok közvetlen minisztériumi irányítás alatt álltak, és gazdasági eredményeik is sok tekintetben a felsőbb akarat szerint (un. kiegyenlítő kassza) alakultak. A fürdőket a korábbi rendszer elsősorban szociális és egészségügyi szempontból tartotta fontosnak, ennek megfelelően a belépőjegy és gyógyászati árak igen alacsonyan voltak megállapítva, amittől a fürdők ráfizetésesen működtek! Magyarország 38 Víz és Csatorna Vállalata a fürdők „vesztességeit” - a víz és csatorna használatokat - gond nélkül elszámolták/leírták. Az új gazdasági helyzetben, amikor a fürdők tulajdonosai jellemzően a helyi önkormányzatok lettek, lényegesen megváltoztak az üzemeltetési viszonyok. A nagymértékben megemelkedett víz és csatorna használati árak azonnal veszteséget okoztak az „újszülött fürdőüzemelte-

*tőkénél*”, mivel a költségeket nem lehetett teljes mértékben a belépőjegyek és a gyógyászati szolgáltatások – Országos Egészségbiztosítási Pénztár által fizetett díj – ár-emelésében érvényesíteni. Ezt a hiányt többnyire az új tulajdonosok kényszerültek kifizetni! További gondot jelentett, hogy a víz és csatorna vállalatok szakmai háttére és egyéb kedvezményes elszámolási lehetősége azonnal megszűnt.

Sokan jóslták a tömeges fürdő bezárásokat, de az szerecsére nem következett be, ami arra vezethető vissza, hogy a tulajdonos önkormányzatok felismerték a fürdők idegenforgalmi, valamint népjóléti jelentőségét és annak hatását a helyi lakosság életére.

Ebben az időben alakult meg a Magyar Fürdőszövetség, a fürdőket üzemeltető vállalatok – vállalkozások – szakmai szervezete, amely segítséget nyújtott a szakmai, gazdasági, oktatási és érdekvédelmi ügyekben. Az összefogásból erdő tárgyalási pozíció és a kormányok segítsége, a tulajdonos önkormányzatok növekvő gazdasági ereje lehetővé tette a fürdők fejlesztését, a korszerűsítéseket és a közegészségügyi előírások/feltételek elérését. Ma már ott tartanak a fürdők, hogy stabilizálódott az anyagi helyzetük, a higiéniai követelményeket teljesíteni képesek, a vendéglátásuk színvonala nagyot fejlődött – 3-5 csillagos kategóriát ért el a létesítmények több mint 80%-a – és egyre több már nyereséges is.

Ezt az eredményt csak úgy lehetett elérni, hogy több mint 2 200 fürdőmedence (a gyógymedencék kivételével) vízforgatóval lett ellátva, és a „fürdős szakmának” a hetvenes évek végétől nagy iramban kellett fejlődnie azért, hogy elérje a korszerű európai követelményeket mind tervezésben, mind kivitelezésben, mind üzemeltetésben.

Hazánkban 1976-ban átadott Komjádi uszoda volt az első XX. századi technológiát és üzemeltetést képviselő létesítmény. A következő öt évben csak néhány tucat vízforgató medence épült meg. Számos jogi és pénzügyi/gazdálkodási intézkedés eredményeként a „vízforgatási programot” 2004-re sikerült teljesíteni. A szakosztály programjaiba a fentiekben leírt fejlesztések végrehajtását segítő témákat vettünk fel, és arra törekedtünk, hogy a kollégáknak minél több konkrét megoldást tudjunk bemutatni, illetve megvitassunk technológiai és egészségügyi kérdéseket.

## BALNEOTECHNOLÓGIAI KIHÍVÁSOK

A szakosztályi üléseken komoly figyelmet fordítottunk a vándorgyűlésekre, majdnem minden évben sikerült önálló szekciót alakítani, azokra a fürdőüzemeltetés minden területéről előadókat megnyerni. Arra is törekedtünk, hogy minél több helyszíni bemutatóval ismertessük meg a fürdők egyedi problémáit és megoldásait az önkormányzati vezetőkkel, a szakosztály tagjaival és vendégeivel. Mindenütt szóba került a szakember hiány és a képzés. Általános tapasztalat, hogy a szakterületen foglalkoztatott emberek keveset keresnek, és ez a létszáhiány meghatározó oka. Egyértelmű lett számunkra, hogy a technológiai fejlesztések mellett egyre nagyobb figyelmet kell fordítani a fürdők üzemeltetésére és ezen belül a gazdálkodásra.

## A fertőtlenítés

Az 1990-es évek elejétől többször visszatérő téma volt a klór alapú fertőtlenítés – az uszodai klórszag és a klórkorrózió megszüntetésére. A technológiai felújítások és új fürdők építése/üzembe helyezése okán tárgyaltuk a hidrogénperoxid alapú fertőtlenítést is, ami több fürdőben teljesen kiszorítja a klóros technológiát. Egyelőre azonban nem várható, hogy ez a fertőtlenítési mód megelőzze, kiszorítsa a klórozást. A klórozás kellemetlen mellékhatásainak csökkentésére a klórdioxid megfelelő alkalmazása az egyik megbízható megoldás.

Az ivóvíz előállításban és a fürdővíz fertőtlenítésben már több évtizede különböző hangsúllyal felmerült az ózon alkalmazása. Ezzel kapcsolatban folytatott viták és megbeszélések, gazdasági és üzemeltetési elemzések azt igazolták, hogy a fürdőkben csak ritkán, olyan vizek alkalmazása esetén indokolt az ózon alkalmazása, amikor a víz ásványi anyag összetételéből következő technológiai problémák megoldását segítik. A klór használatát sokan kifogásolják „egészségkárosító veszélyei” miatt és ezért a medencevíz sózási technológiát szorgalmazzák, ami tulajdonképpen helyszínen előállított klórral történő fertőtlenítés. Előnye, hogy semmilyen klór készítményt (hypo, klórgáz, klórdioxid stb.) nem kell szállítani, ugyanakkor igen nagy az elektromos berendezés beruházási költsége és a villanyszámla!!

Itt kell megemlíteni, hogy a nem kémiai fertőtlenítés – pl. UV sugár, ultraszűrés – is alkalmazható, de csak kiegészítő lépésként, tekintettel arra, hogy a fürdővízben a fertőtlenítőszer tartalomnak az egészségügyi előírásoknak megfelelő mértékben jelen kell lennie. Sokak számára megtevesztő a kereskedelmi forgalomban korlátlanul elérhető családi (2-12 m<sup>3</sup>-es) medencék reklámozott UV és/vagy ózon fertőtlenítésű technológiája, ami természetesen nem közfürdő, azaz más, illetve gyakorlatilag semmilyen szabályozás nincs az üzemeltetésükre!

## Az ultraszűrés

Az ultraszűrés már több mint tíz éve ismert a fürdővíz tisztításban. Hazánkban csak néhány berendezést telepítettek és azok sem mind működnek. Van olyan, amit az üzembe helyezésük után egy évvel leállítottak és többé nem indítottak el. A gyakorlatban kiderült, hogy csak egy homokszűrővel megtisztított vizet lehet rávezetni az ultraszűrőre, azaz a beruházási költsége igen nagy. Az üzemeltetési költsége is több mint a homokszűrőké mivel sokkal többször kell visszaöblíteni és a nagy finomságú műanyag szűrő cső kötegeket is 12-20 havonta cserélni kell!

## Új kihívások

A Hidrológiai Társaság központi rendezvényein mindig részt vettünk. A Víz Világnapi programokban is igyekeztünk megmutatkozni, ilyen volt a 2019. évi is, amikor több mint 200 diák előtt tartottunk előadásokat a víz jelentőségéről és a fürdőről – kiemelve az ásványvizek hazai jelentőségét.

## A fürdők üzemeltetése

A fürdők üzemeltetése kiemelt témánk. Hosszabb ideje tapasztaljuk, hogy a fürdő, mint létesítmény üzemeltetésében a víztechnológiai üzemeltetési feladatokat az épületgépészet és a létesítmény fenntartás, komplex energetikai működtetés és vendéglátás, valamint az épület felügyelet

*túlnőtte.* A műszaki személyzet oktatása nagy lemaradásban van, hiszen a néhány hetes vízgépész képzés egyáltalán nem foglalkozik ezekkel a területekkel.

Hagyományos rendszer szerint minden üzemeltető szakembernek vízforgató és klórgáz kezelő szakképesítése van, emellett legalább egy alapszakmával is rendelkezik (lakatos, villanyszerelő, műszerész, csőszerelő, vegyipari szakmunkás stb.). Az üzemeltető szakember feladata a vízforgató és az épületgépészeti berendezések üzemeltetése és napi karbantartási, javítási munkák ellátása. Forgó szolgálatban 12 órás munkaidőben dolgoznak és jól átgondolt helyeken mindenkinek van egy meghatározott területe, aminek a folyamatos karbantartását elvégzi, azért személyesen felel. Csak-hogy ritka a jó, előrelátó tervezés, mert a tervezők ritkán javasolják, veszik figyelembe az üzemeltetés speciális követelményeit – nevezetesen azt, hogy a későbbi üzemeltető szakembereket már az építkezés közben kellene felvenni és a végszerelési állapotban és próbaüzemnél már alkalmazásban kellene lenniük. A tervezők – új létesítmény vagy régen épített üzemelő gépészet korszerűsítésekor – terveikben csak ritkán határozzák meg a szükséges személyzeti létszámot és a velük szemben támasztandó szakmai követelményeket. Számos esetben tapasztalható, hogy a tervező üzemeltetői létszámot hasonló „nagyágú” létesítmény alkalmazotti számában határozza meg, anélkül, hogy a tárgyi terv üzemeltetésének elemzéséből indulna ki. Ilyenkor fordulhat elő, hogy pl. egy kis község fürdőjének három műszakos üzemeltetést javasolnak. A tervezők nem ritkán részletes egyeztetés nélkül elfogadják a beruházótól, hogy az üzemeltető személyzetet a próbaüzem alatt veszik fel, mintha erre az összetett feladatra bárhol is lenne képzés!

Mai korszerű üzemeltetési gyakorlat, amikor már teljes automatizálást terveznek és a létesítmény energetikai, vízellátás-csatornázási, minden épületgépészeti rendszere számítógépes vezérléssel működik. Az üzemeltető személyzet a számítástechnikai rendszeren keresztül folyamatosan ellenőrzi a műveleteket és a jelzések szerint gondoskodik a szükséges anyagok – pl. vegyszerek, segédanyagok – pótlásáról, az esetleges hibajelek szerinti javításokra a szerződéses javító szervezetek értesítéséről. Fontos megemlíteni, hogy erre nincs mindenütt lehetőség, ha a „háttér ipar” nem áll rendelkezésre!

Nagy különbséget lehet tapasztalni az üzemeltetés gazdaságossági megítélésében és a személyzettel kapcsolatos elvárások tekintetében. Több fürdőben a hiányos szakmai

képzést „kiszervezéssel” igyekeznek pótolni, azaz erre szakosodott vállalkozókat bíznak meg részfeladatok – vízforgatás üzemeltetése, vízilabda- és úszóversenyek lebonyolítása, fűtés és klimatizáció működtetés, takarítás stb. – elvégzésével. Arra is van példa, hogy az önkormányzat tulajdonában levő létesítményt több éves szerződéssel bérbe adják!

2000-ben a Fürdőszövetséggel közös rendezésben a termálvizek hőenergia hasznosítása, a használt vizek elhelyezése és a visszasajtolás kérdései kerültek megvitatásra. A téma többször is ismétlődött. Megegyezés abban alakult ki, hogy az energiára szükség van, komoly beruházást követel a termálvízből nyerhető hőhasznosítás, ami nem lehet a gyógyászat, a fürdők üzemeltetésének terhére.

## RÖVID ÖSSZEGZÉS

A fentiekben leírt változások és kihívásokkal teli volt az elmúlt 25 év, így a szakosztály önként vállalt munkája is nagyrészt ehhez igazodott. A rendszerváltozást követően egyre nagyobb mértékben csökkent a szakmai programok látogatottsága. Eleinte azt gondoltuk, hogy a személyi és szervezeti változások csak átmenetileg fogják érinteni a társasági munkát, hiszen volt már korábban is a vízügyben számos átszervezés, és utána ment minden tovább a korábbi lendülettel. Sajnos nem így lett, mivel rendkívül megerősödött a „takarékosági” szemlélet, és a munkáltatók, illetve az új tulajdonosok már egyre kevésbé tűrték el a fölöslegesnek ítélt utazási költségeket és munkaidő kedvezményeket. Eljutottunk odáig, hogy már jó eredménynek számít, ha egy előadó ülésen a hallgatói létszám több mint 15 fő. Ez abból is adódhat, hogy a fürdők az egész ország területén nagyon szétszóródva találhatók, ami azt is jelenti, hogy az üzemeltető szakemberek többségének minden előadó ülésre 50-100 km-t is utaznia kell/kellene. Hasonló a helyzet a tervezőkkel is.

A fürdőkkel és természetes ásvány- és gyógyvíz használatával foglalkozó üléseken fiatalok különösen kevesen vannak. Ezért a Társaság ifjúsági tagozati ülésén, pl. Mosonmagyaróváron is, részt vettünk és előadáson mutattuk be a fürdőtervezés és üzemeltetés különleges – a víz és csatorna üzemeltetéstől eltérő – munkáját. Szeretnénk a fiatalokat bevonni ebbe a nagyon szerteágazó és nagy szakmai ismereteket megkövetelő területre. A következő évek szakmai tevékenységét a fentiekben vázlatosan összefoglalt témák folytatása határozza meg. Ehhez kell minél több tagot még bevonni a munkánkba és még több elismerést szerezni a balneotechnikának!

## A SZERZŐ



**ÁKOSHEGYI GYÖRGY Dr.** A Budapesti Műszaki Egyetem Gépészmérnöki Karán szerzett gépészmérnöki diplomát 1966-ban. A Magyar Optikai Művek tervezésén kezdte a mérnöki pályát. 1968-tól 1974-ig a Fővárosi Gázkészülékgyártó Vállalat MEO osztályvezetője és a vidéki szervíz vezetője. Ezt követően 13 éven keresztül a Nemzeti Sportuszoda osztályvezetője, majd műszaki igazgatója. Ebben az időben foglalkozik a víztisztítás és a fürdőüzemeltetés elméletével és 1985-ben készítette el és védte meg a műszaki doktori disszertációját „Fürdővíztisztítás és fürdőfejlesztés” címmel. A Kondorosi úti Uszoda főmérnöki állását 1988 végéig töltötte be, ezután az Országos Vízügyi Főigazgatóság főtanácsosa lett, majd Vízellátás Csatornázási Osztályát vezette. 1996-tól 2000-ig a Dagály Fürdő vezetője volt. 2000 július 1-től töltötte be az Országos Gyógyhelyi és Gyógyfürdőügyi Főigazgatóság főigazgatói állását 2005 júliusáig, amikor nyugdíjba vonult. Mérnöki Kamarai tag 1999-től, névjegyzékbe felvett vízmérnöki tervező (VZ-T), vízgépészet szakértő (W-V-10). A Magyar Hidrológiai Társaság Balneotechnikai Szakosztályának munkájában a 70-es évek második felétől vesz részt, a Szakosztály elnöki tisztségét 2001 óta tölti be. A Magyar Fürdőszövetség tiszteleti tagja, a főtitkári tisztséget a megalapítástól 19 éven át 2011-ig látta el, munkáját 2010-ben „SANA PER AQUAM”-díjjal ismerték el. Az MHT Pro Aqua (1999) és dr. Schafarzik Ferenc-emlékéremmel (2015) ismerte el több évtizedes eredményes társasági munkáját.



## Fórum

**A Magyar Hidrológiai Társaság Elnöksége 2019. május 2-i ülésén Külföldi Tiszteleti Taggá választotta Prof. Dr. Mitja Brilly-t, a Ljubljana-i Egyetem Hidrológiai és Vízépítési Tanszékének vezetőjét és Prof. Dr. Franz Nobilis-t, az Osztrák Hidrológiai Társaság (ÖGH) alapító tagját. A kitüntető címek átadására az MHT Elnöksége és az MHT Nemzetközi Kapcsolatok Bizottsága közös rendezvényén 2019. október 17-én került sor az MHT Titkárságán.**

Dr. Szlávik Lajos, az MHT elnökének az ülést megnyitó üdvözlő beszédét követően Búzás Zsuzsa, a Nemzetközi Kapcsolatok Bizottság elnöke mondott rövid laudációt, az ünnepeket köszöntve és érdemeiket méltatva.



**MITJA BRILLY** mérnöki diplomát szerzett 1970-ben a Belgrádi Műszaki Egyetem Mérnöki Karán. 1977-től a Ljubljana-i Egyetemen docens, 1989-től professzor, a Hidrológiai és Vízépítési Tanszék vezetője. 1991 óta az UNESCO/IHP Szlovéniai Nemzeti Bizottságának elnöke. Brilly professzor szakmai munkásságának fő területei:

vízügyi politika, felszín alatti vizek, környezeti információs rendszerek, vízépítés, árvizek kezelése. Pályafutása során Brilly professzor szoros munkakapcsolatot tartott magyar kutatókkal. Évtizedeken át meghatározó egyénisége volt a Duna-vízgyűjtőbeli országok hidrológiai együttműködésének. Jelenleg az OVF koordinálásával 2018-2021 között megvalósuló interregionális DAREFORT projektben vesz részt.

**FRANZ NOBILIS** professzor évtizedeken át dolgozott Ausztria Szövetségi Mező- és Erdőgazdasági Minisztériumának Vízgazdálkodási Osztályán, volt a minisztérium



Központi Vízrajzi Hivatalának vezetője. Ebben a beosztásában kezdeményezte és irányította Ausztria Hidrológiai Atlaszában az összeállítását és kiadását. 1981-től volt a Bécsi Egyetem oktatója. Kutatásainak tárgya a vízháztartás, a hidrológiai előrejelzések, a hidrológiában és a hidrometeorológiában alkalmazott statisztika kérdései. Számos nemzeti és nemzetközi, kormányzati és nem-kormányzati grémiumban teljesített és teljesít szolgálatot, szoros kapcsolatban a magyar hidrológusokkal. Az Osztrák Hidrológiai Társaság (ÖHG) - magyar tapasztalatokra épülő - 1994. évi alapításának egyik kezdeményezője és a Társaság tudományos tevékenységeinek éveken át fő irányítója volt.

Dr. Szlávik Lajos az MHT elnöke adta át a kitüntetett Külföldi Tiszteleti Tag címeket a két professzornak, melyet követően Prof. Mitja Brilly *Future development of flood risk management* címmel tartott angol nyelvű előadást, majd Prof. Franz Nobilis ismertette előadásában az *Osztrák Hidrológiai Társaság megalakulásának történetét, céljait, szervezetét és jelenkori tevékenységét*, szintén angol nyelven. Ez utóbbi előadás írásos változatát közöljük.



## Austrian Hydrological Society – a bridge between science and practice

Shortened version of a presentation at the Hungarian Hydrological Society, Budapest, 17 October 2019

Franz Nobilis

Professor extraordinary at the University of Vienna, Retired Head of Hydrographisches Zentralbüro (Department for Water Balance) at the Ministry for Sustainability and Tourism (BMNT), Vienna, Austria (E-mail: franz.nobilis@gmail.com)

### THE BACKGROUND

The AHS Austrian Hydrological Society (ÖGH Österreichische Gesellschaft für Hydrologie) was founded in 1994 at the Austrian Academy of Sciences in Vienna on the occasion of the centenary celebration of Hydrographischer Dienst (Hydrological Service) in Austria. The author was the nucleus to form AHS/ÖGH as head of Hydrographisches Zentralbüro and professor at the University of Vienna (Institute for Meteorology and Geophysics) at that time.

A board of important actors came together from universities, governmental organisations, water power plant agencies, private institutions and others. The first President was Prof. Wolfgang Stalzer, head of the Department Water in the responsible ministry (BMLFUW), now called Ministry of Sustainability and Tourism, BMNT and the Vice-President was the well-known Prof. Werner Kresser, head of the Institute of Hydrology at the Technical University of Vienna, who years before was the head of Hydrographisches Zentralbüro. Both persons had strong links to Hungary, Prof. Stalzer acting as head of the Austrian delegation at the Österreichisch-Ungarische Gewässerkommission (Austrian-Hungarian Commission for transboundary rivers and lakes) and Prof. Kresser who had a strong friendship to Prof. Woldemar Lászlóffy of Hungary. They created e.g. the conferences for flood forecasting in the Danube Basin, the title was later extended to water balances and water management as well as projects for the water balance of the River Danube.

The author at that time and later had a great network of hydrologists behind him, being involved in WMO as Hydrological Advisor for Region VI (Europe) and Chairman of the Working Group on Hydrology of RA VI, as President of the Surface Water Commission (ICSW) of the International Association of Hydrological Sciences (IAHS), in UNESCO-IHP including the Regional Working Group on Hydrology of the River Danube and others.

### THE AIMS OF THE AHS

The aims of AHS/ÖGH are since 1994 valid: to support the information exchange between the operational hydrological services in Austria (Hydrographische Dienste in Österreich), the specific hydrological institutes at the universities, the user of hydrological data (planning and civil engineers) as well as the research and teaching of hydrology and related fields as water management, hydrometeorology or hydrogeology and to stimulate this processes. AHS is therefore a forum for people in Austria interested in hydrology in general. AHS is a non-profit organization, for benefit of the public.

Before the start of AHS, a study was done with respect to other comparable societies in Europe, estimating the number of potential members. Today the society has about

200 members, 25% coming from universities, 25% from the operational service, 20% from the general administration, 20% from civil engineering and technical planning offices and 10% from private industry.

### HYDROLOGICAL ATLAS OF AUSTRIA

Being a very young society, a very strong activity was necessary to accumulate the power of hydrologist in Austria. This power was found in the promotion, strategy planning and fund raising for the Hydrological Atlas of Austria [www.bmnt.gv.at/wasser/wasserkreislauf/hydrologischeratlas](http://www.bmnt.gv.at/wasser/wasserkreislauf/hydrologischeratlas).

The comments on the idea, contents and product, printed version and the digital Hydrological Atlas of Austria are cited in the printed version as the following:

- *Idea* – Protection and sustainable use of water resources require comprehensive knowledge of the water cycle components and their spatial and temporal distribution as well as information about human impacts and water quality. A synopsis of different hydrological and water management issues of the special importance for a better assessment of possible developments.

The Hydrological Atlas of Austria (HAA) offers a uniform and consistent representation of hydrologic information about Austria. This detailed knowledge is made accessible to a wide audience in illustrative form. Its aim is to increase public awareness to the fact that water is a precious resource. The contents of the atlas and its presentation are useful for meeting the information demand expressed through the different areas of public interest e.g. research, education, economy and politics.

- *Contents and the product* - The Hydrological Atlas of Austria is a dual product. It consists of conventionally printed thematic maps and is combined with a digital, GIS-based version. Thereby, both the expectations of the traditional map users and those who prefer electronic representations are met.

A cartographical concept has been found, which one the one hand presents a homogeneous layout, which gives the HAA its own identity and on the other hand enables an optimal representation of the various topics in the atlas. The structure of atlas covers the different components of the water cycle (e.g. precipitation, runoff, lakes and groundwater), contains various chapters dealing with water and mass balance and also covers water management themes as well as those of water and environment. The authors of the individual maps represent the leading Austrian institutions in the fields of the respective topics. Thus, the HAA is a true collaborative product of Austria's hydrologists.

The digital HAA is a combination of thematic maps and digital data sets, which enable the users to carry out further analysis, to query and verify and to make their own applications. The complete HAA contains 52 map sheets and 70 explanatory sheets.

- Printed version – The concept and the layout of the printed version of the HAA take the following principles into account:
  - collection of maps in a file with cover,
  - uniformly designed and high-quality cartographic map layouts,
  - maps with simultaneous readable explanation sheets,
  - main scale of printed version is 1:1,000,000; 1:2,000,000 is used for maps with a lower information density (format when opened: 668 mm x 420mm),
  - legends and explanation sheets are written in German and in English.

A map sheet consists of a map section with header, the map with legend and an explanation sheet. For the representation of a theme, a map section can include up to 4 single maps.

### THE DIGITAL HYDROLOGICAL ATLAS OF AUSTRIA

The software which is used to present the contents of the digHAA fulfils a number of criteria. The digHAA contains the information of the printed version. The menu to call the respective topics uses the theme structure of the analogue HAA. Since the screen modes have a low resolution, zoom lenses and moving functions are necessary. Graphic evaluations, tables and explanations which correspond to the maps can be activated by controlling elements on the user interface. The digital version is based on an especially developed viewer, providing the following functions:

- presentation of the printed map sheets,
- linking map objects with tables, texts and charts,
- overlay of diverse themes,
- original datasets of themes ready for user specific application (ESRI Shapefiles).

When developing the user interface, great value was attached to an easy navigation through the atlas. Information about the present position in the atlas – spatially and thematically – is always shown. In addition to the complete contents of the printed version, a „Hot link“ function allows for instance, the graphical representation of time series.

The ministry was the official editor for the dual atlas, Hydrographisches Zentralbüro was acting practically as responsible department on behalf of the ministry, using the Austrian Hydrological Society as vehicle for promotion, strategy planning and fund raising and the engaged project leader has been the Institute for water management, hydrology and constructive water buildings at BOKU Vienna (Prof. Nachtnebel and Prof. Fürst, [www.iwhw.boku.ac.at/hao/](http://www.iwhw.boku.ac.at/hao/)). A perfect team for a successful work.

A pilot study was done in 1997 and another one at the World Water Days in 2003: 24 maps plus CD-ROM with additional data and working material for secondary grammar schools as well as universities; 2005: 16 maps plus CD-ROM and 2007: 12 maps plus CD-ROM were presented to the public. Very fast a comprehensive work for hydrology was finished.

In 2007 only 3 dual atlases were in use in Europe: Hydrologischer Atlas von Deutschland (HAD, Germany) with 7 chapters and 47 maps, Hydrologischer Atlas der Schweiz (HADES, Switzerland) with 8 chapters and 48 maps and Hydrologischer Atlas von Österreich (HAÖ, Austria) with 10 chapters and 51 maps.

### ACTIVITIES OF AHS

Beside the abovementioned main project, there were a lot of other activities that AHS carried out:

- (technical) excursions,
- „Practice meets science“ Forum
- seminars and single presentations (107 lectures given by experts from Austria (63%), Germany (20%), Switzerland, Croatia, UK, Hungary, Iceland, Slovakia, Netherlands, USA, Canada, Slovenia)
- round table discussions,
- „Young hydrology of Austria“ presentation series,
- Werner Kresser- Award
- promotion of e-hydrology (eHYD), linked even to HAA and mobile e-hyd.

To present hydrological data on the internet, shortly called eHYD, is the answer for requested historical and actual proofed data. Therefore, the Ministry BMNT provides the webside eHYD ([www.ehyd.gv.at/](http://www.ehyd.gv.at/)) and Hydrographisches Zentralbüro is responsible for the content.

### Further activities of the AHS

- Setting up and regularly update the Homepage ([www.oegh.ac.at/](http://www.oegh.ac.at/)) of AHS,
- Providing information concerning AHS in the Mitteilungsblatt des Hydrographischen Dienstes, if useful (not regulary),
- In addition: AHS as partner in a joint Hydrology-Seminar-Series organized by the Institute of Hydraulic Engineering at the Technical University of Vienna (Prof. Blöschl) and the Institute for Hydrology and Water Management (HyWa) at the Universität für Bodenkultur (Prof. Schulz) in Vienna.
- Cooperation in the past existed:
  - national: Österreichische Bodenkundliche Gesellschaft; BAW Petzenkirchen; FBVA; ÖWAV, ÖIAV, Österreichische Gesellschaft für Geologie, TU Wien, TU Graz, BOKU Wien, University of Vienna, governmental administrations in the Federal Countries and
  - international: CHy (WMO), DHG, DVWK, HHS, IAEA, IIASA.
  - Some activities and cooperation of AHS together with HHS Hungarian Hydrological Society since 1994 were:

- meeting with members of HHS in Eisenstadt (February 1996)
- participating at the Leitha-Symposium of the regional HHS in Győr (April 1998)
- workshop together with HHS concerning „Water balance and water quality of Fertő tó“ (May 2000)
- organising an excursion of HHS visiting the Flood Forecasting Center of Hydrographischer Dienst in Linz and the Institute for Lake Ecology, Fish Biology and Lake Research in Scharfling (May 2001)
- Water balance and water quality in Szigetköz: Technical excursion together with HHS (May 2004).

For the fact that both countries and both societies especially are interested not only in the River Danube but also in Lake Neusiedl / Fertő a study that was published in 2014 may contribute to refresh the cooperation between the two organisations in the years to come:

*Strategy study (Strategie Studie) for Neusiedler See (Fertő tó), published by the Austrian-Hungarian Border Commission for rivers and lakes in 2014, Phase 1, Eisenstadt, 246 pp.*

This study gives a lot of details concerning the physical, chemical etc. properties of the lake, includes studies of

the climatic conditions, wind induced currents, the reed belt and others. Conflicts, danger and potential in all fields are discussed as well as the transboundary perspectives and proposals for solutions.

#### **The actual leading team of AHS**

The actual leading team of AHS consists of the following persons:

President: Univ.Prof. Dr Karsten Schulz; Vice-President: DI Johannes Wiesenegger; Secretary: Dr Viktor Weilguni; Deputy Secretary: DI Peter Lorenz; Treasurer: DI Reinhold Godina; Deputy Treasurer: Dr Gabriele Müller; Organizational-Scientific Advisory Board: Univ. Prof. Dr Günter Blöschl; Technical Advisor: Dr. Julia Derx; Technical Advisor: Dr. Mathew Herrnegger; Technical Advisor: ao. Univ. Prof. Dr Hubert Holzmann

Technical Advisor: Dr. Juraj Parajka; More details of AHS may be found under [www.oegh.at.at](http://www.oegh.at.at)

#### **FUTURE ASPECTS OF THE AUSTRIAN HYDROLOGICAL SOCIETY**

In March 2020 the General Assembly of AHS in Vienna will decide the future ways to go together with interested members and external experts, will select the topics, discuss cooperation partners from national and international sphere and other important issues to keep the AHS as a modern and lively organisation.



# Nekrológ



Életének 77. évében elhunyt dr. Tóth László okleveles építőmérnök tagtársunk.

Bár sokan tudtuk, hogy dr. Tóth László, a Magyar Hidrológiai Társaság aktív tagja komoly küzdelmet folytatott évek óta a betegségével, mégis váratlanul távozott közülünk.

Dr. Tóth László nem csupán aktív tag volt Társaság Vízépítési Szakosztályában, a szakosztály vezetőségében évtizedek óta végzett munkát közöttünk. Aktivitásával sokat tett mind a Társaság, mind számos további szakmai érdekképviselői szervezet működéséért, ezen keresztül az egész mérnöktársadalomért.

Bár feladatai, a Mélyépterv Komplex Zrt. munkájának irányítása az utóbbi években jobban lekötötték, mégis mindig lehetett számítani arra, hogy rendezvényeinkhez szakmai előadásaival adjon értéket.

Életpályája a vízépítési szerkezetekhez kötötte. Ötvenhárom éve, 1967-ben szerzett építőmérnöki oklevelet a Budapesti Műszaki Egyetem Építőmérnöki Karának szerkezetépítő szakán, és azóta folyamatosan gyakorolta hivatását. Tevékenysége a Mélyéptervhez kötötte, majd a nagyhírű tervezőintézet szétdarabolódásakor a Mélyépterv Komplex Mérnöki Kft, majd Rt, végül Zrt. révén lett részese a mélyépterves hagyományok továbbvitelének, életben tartásának.

Munkája során a szerkezettervezés legkülönbözőbb szakterületein szerzett jártasságot, a héjszerkezetektől a víztornyokon át, a medencéig, rothasztókig, átemelő telepekig. A felsorolhatatlanul sok és sokféle munka közül csak néhányat említünk most meg az utóbbi harminc évből. Budapesten nagytérű szennyvízvezetékek, nagykapacitású szivattyútelepek felújításának tervezése és tervezői művezetése kapcsolódik a vezetése alatt működő kollektívához. Munkatársaival tervezték a nagy-maroszi vízlépcső helyén kialakított járható közműalagutat. Debrecenben a szennyvíztisztító bővítését, és az ahhoz kapcsolódó létesítmények tervezését végezték. A budapesti Széchenyi Gyógyfürdő rekonstrukciójának szerkezetépítő mérnöki feladatait tervezte

## Dr. Tóth László

Mezőörs, 1944. 01.25. - Budapest, 2020. 02.19.

kollektívája. A Fővárosban a Duna alatti szennyvíz átvetések műszaki tervezését irányította.

A mérnöki ismeretek és a szerzett tapasztalatok megosztása iránti elkötelezettségét mutatja, hogy ezeket a feladatokat rendre előadókülések, helyszíni látogatások során a szakmai közönségnek be is mutatta. A legutóbbi időben mobilgátak tervezésével foglalkozott, így olyan feladatok elkészítésében vett részt, mint a szentendrei, a szegedi, vagy legutóbb Budapesten a pünkösdfürdői mobilgát kiviteli terveinek készítése és tervezői művezetése. Tapasztalatai alapján az Országos Vízügyi Főigazgatóság őt kérte fel a mobilgátakra vonatkozó tervezési műszaki szabályok összefoglalására.

Aki nem ismerte életrajzi adatait, nem is gondolhatta volna, hogy már nyugdíjas korba ért. Munkásságában kortalan volt. Aktivitása felülírta küzdelmét betegségével, amely az utolsó éveit kísérte. Sokszor lehetett érezni, tart ettől a küzdelemtől. Ám ezeket az időszakokat aktivitása mögé rejtette, és oly módon volt képes felvállalni a feladatokat, hogy ez a harc kívülről nem is látszott. Régi vágású mérnök volt, aki konzekvensen ragaszkodott elveihez. Komoly, tartalmas szakmai vitákban lehetett a műszaki megoldásokat kiérlelni vele. Meggyőző volt, elismerte, ha valaki tudott javítani az elképzeléseken, de ezért meg kellett dolgozni, érvelni, vitatkozni kellett.

A szakosztály vezetőségében a rendszerváltozást követő időszak egyik sarkalatos kérdésének, a minőségbiztosításnak és a szabványosításnak szószólója volt. A Mérnöki Kamarában és a Magyar Tanácsadó Mérnökök és Építésszek Magyarországi Szövetségében is foglalkozott ezzel a kérdéssel.

A felhalmozott tudás átadása élete részét képezte. Publikációi és előadásai mellett konzulensként segítette mérnök-képzést, a Műegyetem Vasbetonszerkezetek tanszékén, a betontechnológiai szakmérnöki oktatásban, vizsgabizottsági tag volt a Pécsi Tudományegyetem Pollack Mihály Műszaki Főiskolai Karán, valamint a Műegyetem Hidak és Szerkezetek Tanszékén.

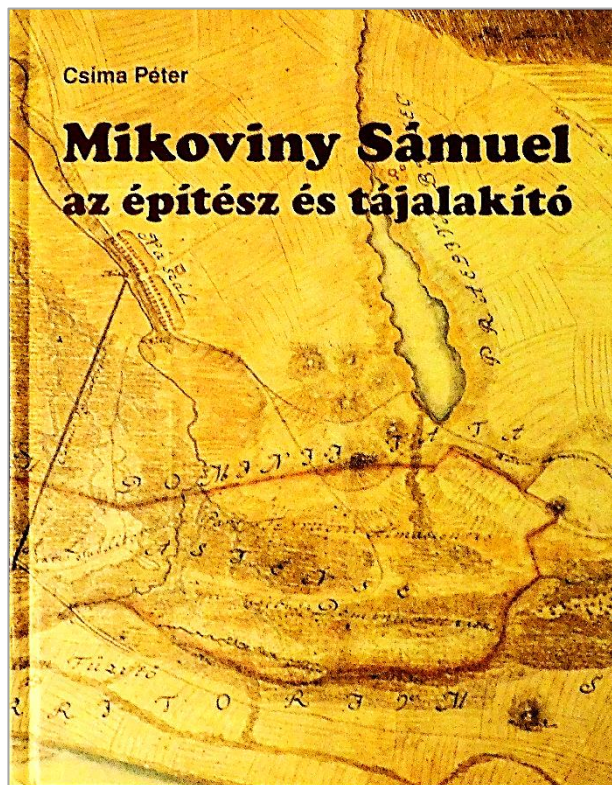
Hivatása gyakorlásában teljes életet élt, sokat és sokfelét tervezett. A szakmai társadalom munkásságát számos kitüntetéssel ismerte el. Ezek közül a legfontosabbak a Munka Érdemrend ezüst fokozata (1998), az Építéstudományi Egyesület érdemérme (1998), a Környezetvédelmi-díj (1998), a Betonépítészeti-díj (2001), a Palotás László-díj (2008). A Magyar Hidrológiai Társaság a Pro Aqua-emlékéremmel (1991), a Bogdánfy Ödön-emlékéremmel (2011) és a Vásárhelyi Pál-díjjal (2016) ismerte el a Társaság érdekében kifejtett, közmegegyezésre szolgáló munkáját.

Emlékét örökké megőrizzük.

*Rácz Tibor  
a Magyar Hidrológiai Társaság  
Vízépítési Szakosztályának elnöke*

## Könyvismertetés

Fejér László, címzetes egyetemi docens, a Hidrológiai Közlöny rovatvezetője bemutatja Csima Péter: Mikoviny Sámuel az építész és tájalakító című könyvét. Kiadó: Építésügyi Tájékoztató Központ Kft. Budapest, 2019.



A múlt század második felében a jeles 18. századi mérnök, Mikoviny Sámuel (1698–1750) munkásságának nagyon sok szegletét vizsgálták magyar (főként Bendefy László, Török Enikő, Deák Antal András) és szlovák (elsősorban Ján Purgina) tudomány- és technikatörténészek. *(Csak megjegyezzük, hogy nemzetisége tekintetében ma két ország vetélkedik azon, hogy saját fiának vallja: Szlovákia és Magyarország. Szerencsére ezt a kérdést nem kell eldöntenünk, mert valójában eldönthetetlen. A 18. században a Magyar Királyság mindkét mai országot egy államszervezetben egyesítette, s ezen belül nem volt meghatározó polgárainak nemzetisége. Mikoviny többnyire – a kor kíváncsiak szerint – latinul és németül fogalmazta meg hivatalos mondandóját, kizárt azonban, hogy nem tudott volna anyanyelvi szinten szlovákul, hiszen szülőfaluja Ábelfalva/Ábelová is a felvidéki, döntően szlovák lakosságú területre esik, ám mindezek mellett magyar nemesnek tartotta magát, s magyar nyelvű levelek is maradtak utána. Mérnöki működésének túlnyomó része a felvidéki térséghez kapcsolódik.)*

Azt hihetnénk, hogy amit csak lehet, megírtak már a korszakos munkásságáról, de Csima professzor gazdag képanyaggal kiadott könyve számos új adalékkal szolgál. Már csak azért is, mert az addigi tanulmányok, könyvek egyike sem tűzte céljául Mikoviny építészeti, vízépítési terveinek bemutatását, ill. szakmai elemzését.

A könyv röviden bemutatja a polihisztor életútját, s ezzel az olvasó számára kijelöli azokat a pontokat, amelyek meghatározták Mikoviny munkásságának főbb területeit. A szerző ezen bevezetőjében foglalkozik Mikoviny „mérnökségének” tartalmi meghatározásával, mit jelentett ebben a korban a mérnöki cím használata, s az egyes terveknek, térképeknek, leveleinek aláírásakor milyen titlust használt. A mai meghatározással a tájépítészet körébe tartozó terveit két részre osztva, külön fejezetbe kerültek selmecbányai munkái és az ország más térségeire készített tájtervei. Ezt követően az első átfogó fejezet az *Épülettervek, építészeti vizsgálatok* címet viseli. Ebben a részben – többek között – a pozsonyi kaszárnyaépület, a körmezbányai szénraktár, a besztecebányai lőporraktár, Selmecbánya településrendezési terve, a szolnoki sóraktárak építészeti vizsgálata szerepelnek.

Ami a vízépítészet történetében meghatározó munkásságát illeti a *Tájtervek és tájalakítás Selmecbánya térségében* című fejezetben található. Itt Mikovinynek kettős műszaki feladatot kellett megoldania: egyrészt a bányák gépi víztelenítését, majd pedig a kitermelt érceket feldolgozó üzemek gépeinek üzemeltetését és a technológiai vízigény biztosítását. A kor technikai viszonyai között a „kutyaharapást szűrivel” módszert alkalmazva, a víz energiájának felhasználásával működötték a bányák vízemelő szivattyúi, és ugyancsak a víz energiája hajtotta az ércfeldolgozók gépeit. Mindehhez sok vízre és a megfelelő helyeken kialakított energiahasznosító tározó tavakra volt szükség. Mikoviny tervei alapján számos tározó épült meg Reichau (1738–1746), Szélakna (1739), Hodrus-völgy (1742–1743), Rozgrund (1741), Kolpach (1738, 1746) térségében.

A szerző, Csima Péter becsületére legyen mondván, nemcsak a levéltárakban nézett utána Mikoviny terveknek, hanem a helyszíneket bejárva, számos műtárgy fényképét is elkészítette, s beazonosította az esetenként már felhagyott műszaki létesítményeket. Mikoviny a tervezéshez szükséges térképeket saját műszereivel maga készítette, tervleírásaiban megadta a tervezett tavak főbb adatait, építésük költségeit, s néhány esetben megbecsülte a működtetésüktől várható hasznot is. A költségtervek általában tartalmazták az anyagszükségletet, a munkaerő- és az építési időigényt. A megvalósítás során kialakított vízrendszer fontos részét képezték a vízgyűjtő és vízvezető árkok, amelyek egyrészt a források, a patakok vizét, valamint a csapadékvizeket a tavakhoz vitték, másrészt a tavakból vitték tovább a bányákhoz és az ércfeldolgozó üzemekhez. Csima professzor az általa bemutatott terveket, térképeket alapos elemzésnek vetette alá, kimutatva azok egyediségét, s a megvalósult és még fellelhető létesítményeknek tájépítészeti jelentőségét, örökségvédelmi értékét.



A könyv 3. fejezete *Tájtervek és tájalakítás Csallóköztől Tataig* címet viseli. A szerző felteszi a kérdést: Mi látható ma a Mikoviny által vizsgált-tervezett és átalakított tájban? Az erre adott válaszban fényképek és magyarázó szövegek egyértelművé teszik, hogy ezen műszaki emlékek jóval nagyobb törődést érdemelnek, megmentésük, kulturális hasznosításuk a jövővel is számot vető hazai műemlékvédelem fontos feladata kell legyen, hiszen pl. – eltekintve a határ túloldalán található selmecbányai tározótavaktól – a Tata-almási csatornák ma is léteznek, és a tájszerkezet jelentős elemei

A 4. fejezet az utakkal, hidakkal és közművekkel foglalkozik. Az első kettő a tájszerkezet fontos alkotóeleme, nélkülözhetetlenek a tájhasznosításhoz, a közlekedési kapcsolatok kihatnak a települések és a táj alakítására.

A szerző összefoglalóan megállapítja: Mikoviny készítette a Magyar Királyságban az első településrendezési ter-

vet. Elsőként alkalmazta a kétléptékű – térségre és építményre, ill. településre és épületre vonatkozó – építészeti vizsgálat, valamint a kétléptékű tájvizsgálat és tervezés módszerét. Tájvizsgálatainak keretében régészeti terepi vizsgálatokat is folytatott, azok eredményeit tervlapjain bemutatta és azokról írásos jelentéseket is készített. A Tata-Almás térségében 1746–1747-ben végzett tervezői és kivitelezői tevékenysége a 18. századi tudatos tájalakítás kiemelkedő hazai teljesítménye.

A kötet 40, levéltári forrásokkal bőven ellátott kézirati tervlapot ismertetett, valamint 228 képet közölt 152 oldalon, s ezzel a szép kiállítású könyv jelentős mértékben hozzájárult Mikoviny munkássága eddig nem, vagy csak kevésbé ismert oldalának megismeréséhez.

*Fejér László  
c. egyetemi docens,  
rovatvezető*

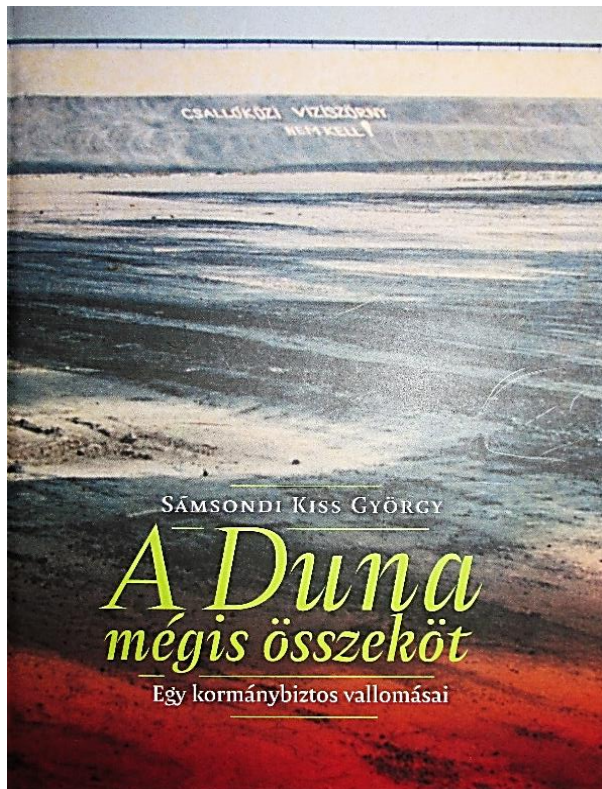


*Mikoviny Sámuel (1698-1750) mellszobra Tatán – Tóth Dávid szobrászművész alkotása (Fotó: Fejér László)*

## Könyvismertetés

Dr. Szöllősi-Nagy András egyetemi tanár mutatja be *Sámsondi Kiss György: A Duna mégis összeköt – Egy kormánybiztos vallomásai c. könyvét* (6 rész, 243 oldal eredeti szöveg + 184 oldal fakszimile melléklet releváns dokumentumokról, Kairosz Kiadó, Budapest, 2019, ISBN 978 963 514 004 6).

### Egy jó szándékú könyv rossz szándékú emberekről



Ezt a könyvet minden integrált vízgazdálkodással foglalkozó magyar szakembernek el kell olvasnia. Adatközlésével nélkülözhetetlen forrás a kor történelmével és politikájával foglalkozó kutatók számára is.

A hézagpótló kötet gerince egy harminc éve kibeszéltetlen történet genezise és torz fejlődése beágyazva a kor történelmi kontextusába, egy akkor felelős kormánytisztviselő elbeszélésében. Ez a gerinc a Bős–Nagymaros komplex vízgazdálkodási rendszerrel (BNV) kapcsolatos szomorú végjáték kronológiája, önjelölt főszereplőinek szálnalmas viselkedése a kor honi politikájának kontrasztos hátterével. Az elbeszélő pedig *Sámsondi Kiss György* építész, a „*Bős–Nagymaros probléma szakmai kezelésére*” kinevezett államtitkári rangú kormánybiztos Antall József kormányában.

Az önéletrázások általában is érdekesek, mert keretet adnak az azokat írók későbbi cselekedetsorozatának jobb megértéséhez. Így van ez ennek a könyvnek az esetében is. A hat részből álló kötet öt része Szerző konzervatív polgári környezetből induló, majd a háború utáni nehéz évektől a szakmai karrier kiteljesedéséig ívelő, a konzervatív polgár (citoyen) szellemi függetlenségét megtartani iparkodó tisztességes ember személyes története, amiben

tapinthatóvá válik mindenféle mozgalmár, mint olyan, szelíd utálata. Élvezetesen megírt szubjektív történelem. Ám lapunk számára a IV. rész („*És buktunk Bősnél*”) a valódi csemege, mely együtt a hetvenhárom, eddig részben nem közölt melléklettel adja meg igazán a történet sava-borsát. A minisztere szabta feladata a BNV beruházás „*kiruházása*” volt, amihez hozzáfűzi, hogy „*Valamennyire ismertem a helyzetet, a rendszerváltozás trójai falovát ... [ám] se szakmai tudásom, se morális karakterem nem alkalmas erre az igen bonyolult ... munkára*” érveléssel próbálja tisztességesen és korrekten elhárítani a felkérést.

Azonban szíó barátja, *Jeszenszky Géza* akkori külügyminiszter rábeszélésének hatására az alól kitérni nem tud. Ehhez, saját bevallása szerint, hozzájárult a politikai változások „*eufóriájából adódó kötelességérzet is*”. Ebben a részben írja, hogy „*A későbbi fiaskót megalapozó bősi probléma soktényezős, még az ötvenes évekre nyúlik vissza*”. Ugyan ezzel pár évtizeddel későbbre datálja a Duna felső szakaszának hasznosításával kapcsolatos eseményeket, ugyanis koncessziót arra még az I. Világháború előtt nyert el egy svájci cég – akkortájt amikor Jozsif Vízárionovics éppen, hogy túl volt teológiai tanulmányain, ám ez csak apró pontatlanság. Igaz, ez nem zavarta a mozgalmár propagandistákat abban, hogy „*sztálini agyrém*”-nek minősítsék a BNV tervét<sup>1</sup>. A Mosonyi-féle terv pedig a II. Világháború alatt kristályosodott ki<sup>2</sup>, amikor a Generalisszimusz szintén mással volt elfoglalva. Szerző már előljáróban rögzíti, hogy a „*vízlepcsőrendszer elleni érveink túlfuttatásának és ... a trójai falóba betolakodó szélhámosok, destruktív demagógok, magukat átmentő régi káderek, gátlástalan karrieristák érvényesülésének [és] politikai befolyásának ... „kiteljesülése” egy nemzeti katasztrófa beteljesülése lett*”<sup>3</sup>. Ez a felütés az egész kötet alaphangja: egy segíteni kész, kellő vízgazdálkodási szakmai-tudományos háttérrel azonban nem rendelkező, a BNV koncepcióját eleinte nem értő, ám nem elfogult, kompromisszumra hajló, jó szándékú, a „kamikáze kormányt” fenntartás nélkül támogató konzervatív ember megkeseredésének története. Egy elképesztő történet fejlődése bontakozik ki a könyv lapjain. Sötét félrevezetések, hamisítások, manipulálások és hazugságok története ez, ami mögött szálnalmasan önző hatalmi harcok sejlenek fel mindenre kész kivitelezők előadásában.

És – végre! – megtudjuk, hogy mindezért kik a felelősök. Sámsondi Kiss ugyanis adatokat közöl. Sokat és kontextusban az összes felelőtlen *Duna Körös*<sup>4</sup> demagógról *Vargha Jánostól* kezdve *Hajósy Adrienen* és a hajdan VGIS Szántó Györgyön át *Páska Csabáig* és *Jánossy Andrásig*, valamint az elvileg felelős intézményekről is, ideértve a Magyar Tudományos Akadémia dicstelen szerepét az



egész folyamatban, amiben az „illetékes [MTA] Vízgazdálkodási Bizottság nem is vett részt a szakértői munkában ... végül a pénz elment, de csak helyzetfelmérés készült ... a testület [MTA] vezetése fundamentalista csapdaállító mozgalmárok befolyása alá került”. A végrehajtó hatalom, „elsősorban Antall József tudatában volt feladatom ellentmondásosságának ... A bőszi ügyben érezhető volt a mélyben szkeptikussága. Állítólag bizalmas körben kijelentette, hogyha racionálisan kívánná cselekedni, a Duna Körös szellemmel átitatott országgyűlés 99%-a leszavazná”<sup>5,6</sup>. Ez ugyan nem menti a felelős miniszterelnök döntésképtelenségét, de legalább adalékot ad annak megértéséhez. Szerző részt vesz Mosonyi Emil 80. születésnapján ünnepségén a Gellért Szállóban és megjegyzi, hogy Mosonyi „történetesen Antall miniszterelnök sógora volt, neki ez kissé kényes volt a Duna Kör befolyása miatt” és így „nem akarta exponálni magát”. Az MTA „vízügyes tudósai közben memorandumot intéztek a kormányhoz azzal a figyelmeztetéssel, hogy őket boszorkányüldözés éri, miközben szélhámosok érveivel dolgozunk – így Sámsondi Kiss – Aláírták többek között Haszpra Ottó, Vágás István, Kozák Miklós professzorok is”. Titkárságának vezetője, Szántó György ellene fordul, mert kormánybiztos akar lenni, „gyanús külföldi cégekkel” tárgyal, „de amikor kiderül, hogy munkásör is volt, az már lehetetlenné tette helyzetemet”, mint ahogy az is, hogy a Titkárságán megbízási szerződéssel megfordul a „kőrmös Bauer, akit az Államvédelmi Hatóságnál a Rákosi időszakban elkövetett tettei miatt neveztek így”. Shakespeare-i dráma. Ám a folytatás sem kevésbé izgalmas: „... üzenetet kaptam Antall Józseftől, hogy óvakodjak egy Páska Csaba nevű, sokat szereplő mozgalmártól. ... Megdöbbenem [Páska] egy javaslatán: robbantsuk fel az elkészült dunakiliti duzzasztóművet, bizonyítva elszántságunkat”. Szintén Páskától származik az elhírhedett mondat: „A vízügy rákos daganat a nemzet testén”<sup>7</sup>. Ezt megbízható forrásból tudhatta, hiszen pár évvel korábban III/III-as titkos megbízott<sup>8</sup> ügynökként szorgosan tüsténkedett Gyűjtőgető fedőnéven<sup>9</sup>, mely tevékenységében a Duna Kör számos tagja sem hagyta magára<sup>10</sup> – de hát ilyenre alakult akkoriban a legújabbkori magyar történelem.

Lehet mondani egy visszaemlékezésről, hogy biztosan túl szubjektív, harminc év eltelt, a memória szelektív és nem is biztos, hogy Szerző azt úgy gondolta akkor, ahogy leírta most<sup>11</sup> – ám a csatolt faksimile dokumentumok nem hagynak kétséget afelől, hogy az őszinte, néhol szinte önmarcangoló önmagába nézés nem vitte vakvágányra Sámsondi Kiss gondolatmentét. Az amatőrség, a tudatlanság, a hozzá nem értés és a rosszindulat ült tort ebben a szomorú történetben<sup>12,13</sup>.

Bár felcsillan néha a kafei helyzet komikuma adta humor is: Hábel György - akit Szerző sokra tartott, ám ebbéli álláspontját a vizes szakma nem osztotta egyöntetűen – ezt írja a külügyminiszterhez címzett bizalmas magánlevelében: „Dr. Bakonyi Péter egy hordó sört követel rajtam

fájdalomdíjként, hogy az én javaslatomra és a Te intézkedésedre részt kellett vegyen a mostani Pozsony-győri munkabizottságban, és annak hozzá nem értését el kellett szenvedje ...”<sup>14</sup>.

A baj BNV ügyekben mindig ott volt, hogy a viták vagy rafináltan manipulálva voltak az elejétől kezdve, vagy mesterségesen elcsúsztak egymás mellett. Amikor hajózásról esett szó, akkor árvízvédelmi kérdésekkel zavarták össze az arra vonatkozó minden tudással nem rendelkező hajózási szakértőt, amikor egy árvédelmi szakembert interjúoltak, akkor a kérdés az akvatikus ökológiáról szólt. Amikor vízi ökoszisztémákról, akkor nemzetközi jogra, vagy földrengésgenerálásra (no, ez volt minden számárságok számársága) terelték a vitát<sup>15</sup>. Mosonyi Emilt, akit a múlt század második felében csakugyan az első öt között ismertek el világszerte a komplex vízgazdálkodás területén (nem csak a vízerőhasznosításban), itthon abszolút hozzá nem értő, szakmailag iskolázatlan és tudatlan amatőrök vagy lefasisztázták, vagy lekommunistázták. Tette ezt ugyanaz az ember, akit óriási felelősség terhel abban, hogy idáig jutottak a dolgok, mert jól megtervezve sem lehetett volna az országot Duna ügyben abba a rossz helyzetbe manőverezni, ahol ma van. A *Hidrológiai Közöny* '89 - '93-ban rendre publikálta „Refuznyiki” rovatában azokat a cikkeket, amelyeket szakmájuk szégyeneként a korabeli magyar „demokratikus” sajtó visszautasított és/vagy nem közölt le. A cikkek a *Magyar Hidrológiai Társaság* honlapján elérhetők<sup>16</sup>. A napi politizál(gat)ással foglalkozó humán értelmiségben számosan a Bős-Nagymaros kérdéskört ma is a rendszerváltás szent szimbólumának tartják. S mint ilyen érinthetetlen tabunak tekintik, amihez nem szabad hozzányúlítani, mert az elhervasztaná cseperedő demokráciánk virágait. Csak ne derüljön ki az igazság! Mások, főleg a releváns tudásokkal rendelkező műszaki értelmiség, más véleményen vannak<sup>17</sup>. A vita folytatódik<sup>18</sup>.

Időközben eltelt harminc év. Huszonhárom a hágai *Nemzetközi Bíró*ság döntése óta. Megoldás pedig azóta sincs. Annak megtalálásához jó lenne harminc év elmúltával harag és részrehajlás nélkül legalább megírni ennek a borzalmas fiaskónak a valós történetét. Nos, fontos adalékként és forrásként ebben segít Sámsondi Kiss György alapos könyve.

És a megoldás? Félő, hogy mindaddig, amíg regnálnak azok a politikusok, akik a "politikai változások trójai falovának" farából lopakodtak ki, majd az akkori hatalommal összekacsintva véghez vitték az őket hatalomra segítő változásokat, aztán egymás torkának estek és azóta sem akarnak hallani a Duna valóságáról és vízének fenntartható használatáról, addig korlátozott remény van a megoldásra.

Ha van egyáltalán.

Szöllősi-Nagy András

<sup>1</sup> A *Mérnök Újság* (MÚ) 2019. júniusi számának 45. – 48. oldalán megjelent interjúban (*“Sámsondi Kiss György a Bős - Nagymaros szindrómáról – összevont, elválaszt”*), l. még <http://mernokvagyonok.hu/wp-content/uploads/2019/11/MU19-06.pdf>, jegyzi meg, hogy *“Mivel a vízlépcsőrendszer tervezési fázisába egy szovjet, pontosabban grúz szakértőt is bevontak, a mozgalmárok attól tartottak, hogy titkos szovjet stratégiai érdek is felbukkan a beruházás mögött, sőt, akadtak, akik egyenesen interkontinentális rakéták dunai szállításáról beszéltek.”*

<sup>2</sup> L. még: Árpási Zoltán: *Mosonyi Emil a vízépités professzora*, Kossuth Kiadó, Budapest, 2006, 316 old., ISBN 963 09 4890 7. További részletek találhatók még a *“Kék Duna – tények, érvek, vélemények”* című dokumentumkötetben, Kornétás Kiadó, Budapest, 1998, 207 old., ISBN 963 7843 55 8.

<sup>3</sup> Sámsondi Kiss: „... *A kormány szörnyű skizofrén helyzetbe navigálta magát.*” Forrás: az 1. jegyzet alatti MÚ interjú.

<sup>4</sup> Szerző: *“A Duna Körnek nemzetközi tekintélye volt. Kár, hogy eljátszotta azt tudatos félrevezetésekkel, hazugságokkal, uszítással – és egy időre az SZDSZ-hez történő informális csatlakozással.”* (167. old.)

<sup>5</sup> Sámsondi Kiss: *“... annyira merevvé vált a magyar álláspont - a parlamenti képviselők túlnyomó többsége a Duna Kör közvetlen befolyása alatt áll -, hogy gyakorlatilag nem kezdeményezhették a kompromisszumot.”* Forrás: az 1. jegyzet alatti MÚ interjú.

<sup>6</sup> Sámsondi Kiss: *“Antall József ... tudta, hogy igazunk van, de meg volt kötve a keze.”* Forrás: az 1. jegyzet alatti MÚ interjú.

<sup>7</sup> Szerző ennek kapcsán jegyzi meg, hogy *“megkísértem megvédeni a demonizált vízmérnöki szakmát. Ebben az évben [1990] 4 fő mert csak jelentkezni erre a fakultásra a Műegyetemen!”* Ennek hatása a szakma korfájában ma is jelen van.

<sup>8</sup> Társadalmi megbízottnak (tmb) az állambiztonsági hálózatnak azt a tagját nevezték, aki elvi meggyőződésből vett részt a titkos együttműködésben. L. még <https://index.hu/belfold/0703tmb/>

<sup>9</sup> <http://www.utolag.com/Ikei/Ugynok/UgynokokNagyImreTemetesen.htm>

<sup>10</sup> [https://index.hu/belfold/1989/2009/06/11/nyilvanossagra\\_kerultek\\_hogy\\_kik\\_voltak\\_a\\_besugok\\_nagy\\_imre\\_ujratemetesen/](https://index.hu/belfold/1989/2009/06/11/nyilvanossagra_kerultek_hogy_kik_voltak_a_besugok_nagy_imre_ujratemetesen/)

<sup>11</sup> Sámsondi Kiss: *“Mi egy súlyos önáltatásba húztuk be magunkat. Elszántan küzdöttünk néhányan, de enyhén szólva félresöpörtek bennünket. Először engem, aztán a minisztert [Keresztes K. Sándor] is.”* Forrás: az 1. jegyzet alatti MÚ interjú.

<sup>12</sup> A miniszterelnök számára 1992. május 5.-én készített *“Bizalmas!”* jelzésű memorandumában (*“Gondolatsor a Bős-Nagymaros szakutcaból történő kibontakozáshoz”*) jelzi, hogy *“Mint bárhol a világon, a környezetvédő mozgalmakhoz fanatikus, irracionális, haszonleső elemek is csatlakoztak. Ezt az érzelmi túlfűtöttség különösen elősegítette. Megjelentek a magukat a vágányon “átmentő” ravasz káderek és testületek. ... Az SZDSZ-FIDESZ, felhasználva a pártosodva újra alakuló Duna Kör régi tekintélyét, kérlelhetetlennek mutatta magát, tudatosan akadályozva még az ellenérdekű fél javaslatának megvizsgálását is, merevvé téve az áprilisi parlamenti határozatot.”* (384. és 386. old.)

<sup>13</sup> E tekintetben tanulságos dokumentumok találhatóak a [http://www.szite.hu/hun/20\\_eve\\_tortent.html](http://www.szite.hu/hun/20_eve_tortent.html) web-oldalon.

<sup>14</sup> Ugyanebben a levélben Hábel azt is megjegyzi, hogy: *“... ne csak a szlovákokat szidjuk, a t. Kormány “köszönje meg az eredményt” dr. Hajósy Adrienne fizikusnak ... „Ragyogó tanácsokkal” látta el dr. Mádl Ferenc miniszter urat ... Sikeres volt egyéb romboló tevékenysége is. Véleményem szerint pszichiátriai orvosi felülvizsgálatra kellene küldeni ... ugyanakkor még mindig Mádl miniszter úr bizalmát élvezve, Pozsonyban kezdődött és a Győrben folytatódó tárgyalásokon a delegáció helyettes vezetője, Vargha János informátora.”* (Verbatim, 389. old.)

<sup>15</sup> Sajnálatos módon az szeizmicitással kapcsolatos és tudományos megalapozottságú érveken alapuló okfejtésüket a BNV ellenzők eddig nem közölték. Bármennyire is kerestük a geofizikus-mérnök végzettségű Dr. Hajósy Adrienne közleményeit a BNV hatásterületén előforduló földrengésekkel kapcsolatban - akár a Google, akár a Google Scholar keresőprogramokkal - legnagyobb sajnálatunkra nem leltünk egyetlen releváns vonatkozó szakmai publikációt se, hacsak nem tekintjük annak az *Élet és Irodalomban* megjelent két rövid hozzászólását (*“Úveges szemek”*, 2011, <https://www.es.hu/cikk/2011-10-16/dr-hajosy-adrienne/uveges-szemek.html> ill. *“A vízlépcső haszna”*, 2020, <https://www.es.hu/szerzo/29960/dr-hajosy-adrienne>), amelyekben viszont nem esik szó a BNV földrengéssel szembeni állékonyságáról. A kérdéskörrel *Mistéth Endre* publikált extenzíven (L. pl.: *„Erőtani méretezés valószínűségelméleti alapon”*, 199 old., ÉTI, Budapest, 1974; ill. *“A dunai vízlépcsőrendszer földrengéssel szembeni állékonysága”*, Vízügyi Közlemények, LXIX. Évf., 1987/2. füzet, pp. 184-204). Bár közleményében számok is vannak és a közölt differenciálegyenletek, valamint az általa kidolgozott sztochasztikus méretezési eljárás kétségkívül nem könnyíti meg a laikus olvasó gyors megértési folyamatát, *Mistéth* mégis teljes mértékben felhasználta a 80-as években e területen rendelkezésre álló tudást és technológiát. Ennek az ellenkezője igaz a *Hajósy Adrienne és Vargha János* szerzőpáros jegyezte politikai pamfletre (*„Az elrabolt folyó – a Duna-ügy az ENSZ hágai Nemzetközi Bírósága előtt. Duna Kör 1997”* 24 old., Nemzeti Tankönyvkiadó Rt., ISBN nélkül) ugyanis abban egyetlen tudományosan megalapozott érv és/vagy következtetés nem található.

<sup>16</sup> L. itt: [https://library.hungaricana.hu/hu/view/HidrologiaiKozlony\\_1989/?query=feh%C3%A9r%20p%C3%A9ter&pg=400&layout=s](https://library.hungaricana.hu/hu/view/HidrologiaiKozlony_1989/?query=feh%C3%A9r%20p%C3%A9ter&pg=400&layout=s)

<sup>17</sup> Példaként lásd *Héjjas István és Kalina Ernő*: *“A vízerőenergia hasznosítása, árvízvédelem”* című 2018-as közleményét, (l. itt: <https://klimaszkeptikusok.hu/?tag=vizenergia>), amelyben kifejtik, hogy *“A 2010. évi választásokat követő új kormány ... a Magyarországon rendelkezésre álló legnagyobb megújuló energiaforráshoz, a vízerőenergia hasznosításához ... úgy viszonyul, mint ördög a tömjénfűstöz. ... az elmúlt másfél évtizedben egyik kormány sem vállalta fel a vízerőenergia hasznosítását. Félnek a közvéleményben kialakult vízlépcső ellenes hangulattól, amelynek kialakulásához jelentősen hozzájárultak az egyoldalú tájékoztatással, számtalan megalapozatlan információval, szakmailag téves, megtévesztő propaganda hadjáratokkal.”*

<sup>18</sup> L. például itt: [https://nepszava.hu/3035658\\_harminc-eve-fuggesztettek-fel-a-nagymarosi-gat-epiteset](https://nepszava.hu/3035658_harminc-eve-fuggesztettek-fel-a-nagymarosi-gat-epiteset) és itt: <https://greenfo.hu/hir/a-bos-nagymaros-ugy/>

